

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS**

### **DESARROLLO DE UNA PROPUESTA DE MEJORAS AL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE RUNAHURCO DEL PASOCHOA**

#### **CALIDAD DE AGUA**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO  
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO SUPERIOR  
EN AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL**

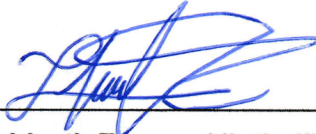
**KAREN LIZETH ZARUMA VINTIMILLA**

**DIRECTOR: EDUARDO MAURICIO VÁSQUEZ FALCONES**

**DMQ, agosto de 2022**

## CERTIFICACIONES

Yo, Karen Lizeth Zaruma Vintimilla declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



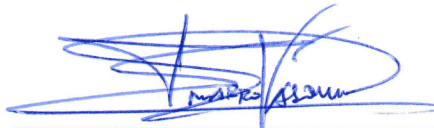
---

**Karen Lizeth Zaruma Vintimilla**

**karen.zaruma@epn.edu.ec**

**karenzaruma8@gmail.com**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Karen Lizeth Zaruma Vintimilla, bajo mi supervisión.



---

**Msc. Eduardo Vásquez**

**DIRECTOR**

**eduardo.vasquez@epn.edu.ec**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

Karen Lizeth Zaruma Vintimilla

## **DEDICATORIA**

Dedicado a mis padres, Cristina y Edgar, quienes nunca dejaron de creer en mí aun cuando yo no tenía esperanza y me lo demostraron con su amor incondicional. A quienes estoy eternamente agradecida por haberme hecho quien soy ahora, nunca podré recompensarles todo lo que han hecho por mí, pero cada día intentaré ser una mejor hija y, sobre todo, una mejor persona.

A la memoria de la persona que me crío desde pequeña, quien fue un pilar fundamental en mi formación, que con sus dulces palabras me daba paz y alegría que lograban calmar mi alma. A quien nunca dudó de mis capacidades y me amó con mis defectos, mamá.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, quien me ha bendecido a lo largo de mi existencia y me ha brindado fuerza cuando no creía posible continuar.

A mis padres, quienes me han acompañado durante todo mi camino y han sabido guiarme con su experiencia e inteligencia por las diversas adversidades que nos ha traído la vida.

A mis maestros, profesionales en sus ramas respectivamente que, de la vida universitaria han hecho un placer el proceso de aprendizaje con sus inmensos conocimientos.

A mis amigos, que no podría haber escogido un mejor grupo para pasar por esta travesía denominada universidad.

A todos los mencionados, mi infinito amor y respeto.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES .....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	II
DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTO .....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
ÍNDICE DE TABLAS .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VIII
RESUMEN .....	IX
ABSTRACT .....	X
1.1 Objetivo general.....	2
1.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Alcance.....	2
1.4.1 Calidad del agua.....	3
1.4.2 Indicadores de calidad del agua .....	4
1.4.3 Potabilización del agua .....	7
1.4.4 Normativa vigente.....	8
2 METODOLOGÍA.....	9
2.1 Levantamiento de información .....	9
2.1.1 Visitas técnicas .....	9
2.1.2 Plan de muestreo .....	10
2.1.3 Catastro de operaciones de tratamiento.....	10
2.2 Evaluación de la calidad del agua.....	10
2.2.1 Análisis <i>in situ</i> .....	11
2.2.2 Análisis en laboratorio .....	12
2.2.3 Índice de calidad del agua.....	16
2.2.4 Comparación con la normativa .....	18
2.3.1 Procesos físicos.....	18
2.3.2 Sistema de desinfección .....	22
2.3.3 Operación y mantenimiento .....	25
2.3.4 Presupuesto.....	25
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	26
3.1 Levantamiento de información .....	26

3.1.1	Visitas técnicas .....	26
3.1.2	Plan de muestreo .....	28
3.1.3	Catastro de operaciones de tratamiento.....	30
3.2.1	Análisis <i>in situ</i> .....	33
3.2.2	Análisis en laboratorio .....	33
3.2.3	Análisis de parámetros post tratamiento.....	36
3.2.4	Índice de calidad del agua.....	37
3.3.1	Procesos físicos.....	39
3.3.2	Sistema de desinfección .....	42
3.3.3	Operación y mantenimiento .....	45
3.3.4	Presupuesto.....	47
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	48
4.1	Conclusiones .....	48
4.2	Recomendaciones .....	49
5	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51
6	ANEXOS.....	55
6.1	ANEXO I. TURNITIN .....	55
6.2	ANEXO II. Encuestas resueltas .....	62
	Encuesta.docx .....	62
6.3	ANEXO III. Plan de Muestreo .....	63
6.4	ANEXO IV. Registro fotográfico .....	66
6.5	ANEXO V. Análisis de calidad de agua en el Tanque de Runahurco .....	67
6.6	ANEXO VI. Presupuesto para la implementación de mejoras en el sistema ..	68
6.7	ANEXO VII. Memoria Técnica.....	69

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros organolépticos seleccionados para caracterización .....	4
Tabla 2. Parámetros físicos seleccionados para caracterización .....	4
Tabla 3. Parámetros químicos seleccionados para caracterización .....	5
Tabla 4. Parámetros microbiológicos seleccionados para caracterización .....	6
Tabla 5. Parámetros medidos en laboratorio mediante espectrofotometría .....	14
Tabla 6. Ecuación ICA-NSF .....	17
Tabla 7. Pesos relativos de los parámetros para el ICA-NSF .....	17
Tabla 8. Puntos de muestreo con georreferenciación .....	29
Tabla 9. Comparación parámetros in situ con la normativa TULSMA .....	33
Tabla 10. Valoración de sólidos en captaciones .....	34
Tabla 11. Comparación parámetros cuyo análisis se hizo en laboratorio con la normativa TULSMA .....	34
Tabla 12. Comparación parámetros biológicos cuyo análisis se hizo en laboratorio con la normativa TULSMA .....	35
Tabla 13. Comparación de análisis del agua para consumo humano con la normativa ...	36
Tabla 14. Análisis de cloro en el agua para consumo humano.....	37
Tabla 15. Evaluación ICA-NSF de la captación 1.....	38
Tabla 16. Evaluación ICA-NSF de la captación 2.....	38
Tabla 17. Diseño del desarenador .....	42
Tabla 18. Tiempo de retención del sistema de desinfección .....	42
Tabla 19. Volumen tanque de contacto .....	42
Tabla 20. Volumen tanque de contacto .....	43
Tabla 21. Demanda de cloro .....	43
Tabla 22. Peso de cloro a usar en el sistema de desinfección .....	44
Tabla 23. Preparación de la solución madre .....	44
Tabla 24. Preparación de solución para mantenimiento del sistema.....	46
Tabla 25. Presupuesto de la propuesta de mejora.....	47



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Hipoclorador por goteo de carga constante .....	8
Figura 2 Inicio del sistema de tratamiento de Runahurco .....	26
Figura 3 Primer tanque de cloración .....	27
Figura 4 Segunda captación .....	27
Figura 5 Sistema de abastecimiento en Google Earth .....	29
Figura 6 Desarenador.....	30
Figura 7 Tanque de cloración uno .....	30
Figura 8 Captación dos .....	31
Figura 9 Tanque de cloración dos.....	31
Figura 10 Tanque de cloración tres .....	31
Figura 11 Sedimentación tanques de solución madre .....	32
Figura 12 Clasificación ICA propuesta por Brown .....	37
Figura 13 Diseño de aireador de cascada captación 1 .....	39
Figura 14 Diseño de aireador de cascada captación 2 .....	40
Figura 15 Diseño del cribado .....	41
Figura 16 Desarenador de dos unidades paralelas.....	41
Figura 17 Esquema sistema de desinfección por goteo constante.....	45
Figura 18 Insumos necesarios para operaciones de mantenimiento del sistema .....	45

## RESUMEN

En el presente trabajo se trata acerca de una propuesta de mejora aplicable al sistema de purificación de agua. El recurso hídrico pertenece a tres vertientes: Río del Cerro Pasochoa, La Cascada Padre Urco y un ojo de agua cercano a la cascada, conforman parte del sistema de abastecimiento de Runahurco encontrado en Pasochoa, Pichincha.

La adquisición de información se obtuvo mediante una encuesta, solicitando al GAD Parroquial y visitas técnicas. Por otra parte, se realizaron análisis químicos, físicos y biológicos tanto en agua cruda como en la destinada a consumo, siendo en total 20 parámetros. Los estudios se realizaron siguiendo la metodología establecida en el Plan de Muestro, (Anexo III).

Una vez obtenidos los resultados experimentales, estos se compararon con las normativas correspondientes. Se utilizó la Tabla 1, Anexo 1, libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente para el agua cruda y principalmente la Tabla 1 de NTE INEN 1108:2020 en agua para consumo. Se identificó que los parámetros no aceptables son el oxígeno disuelto y el cloro libre residual. Sumado a esto, se evaluó el Índice de Calidad del Agua, nos indicó que las fuentes utilizadas son de buena calidad y los parámetros problemáticos son la temperatura, oxígeno disuelto y pH en ambos casos.

La propuesta de mejora establecida consta de dos aireadores, un cribado, un desarenador y tres hipocloradores de goteo constante, con un valor total de 3796.75 USD. Finalmente, el proyecto fue plasmados en una memoria técnica accesible a la comunidad.

**PALABRAS CLAVE:** Calidad del agua, normativa, análisis in situ, análisis en laboratorio, ICA-NSF, tratamiento, propuesta de mejora.

## ABSTRACT

The scope of this paper concerns a proposal for the improvement of the water treatment system. The water resource belongs to three springs: Rio del Cerro Pasochoa, Cascada Padre Urco and an eye of water near the waterfall, form part of the Runahurco water supply system located in Pasochoa, Pichincha.

The acquisition of information was obtained through a survey, requests to the Parish GAD and technical visits. On the other hand, chemical, physical, and biological analyses were carried out on both raw water and water intended for consumption, with a total of 20 parameters. The studies were completed following the methodology established in the Sampling Plan (Annex II).

Once the results of the experiments were obtained, they were compared with the corresponding regulations. Table 1, Annex 1, Book VI of the Unified Text of Secondary Environmental Legislation was used for raw water and mainly Table 1 of NTE INEN 1108:2020 for water for consumption. It was identified that the unacceptable parameters are dissolved oxygen and free residual chlorine. In addition to this, the Water Quality Index was evaluated, indicating that the sources used are of good quality and the problematic parameters are temperature, dissolved oxygen, and pH in both cases.

The improvement proposal consists of two aerators, one screen, one desander and three constant drip hypochlorinators, with a total value of 3796.75 USD. Finally, the project was translated into a technical report accessible to the community.

**KEYWORDS:** Water quality, regulations, on-site analysis, laboratory analysis, ICA-NSF, treatment, improvement proposal.

# 1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

La vida se relaciona directamente con el agua, puesto que este recurso asegura la supervivencia del planeta entero. Es así como, la calidad del agua que consumimos es sobresaliente al determinar los medios de propagación de enfermedades relacionadas al saneamiento y salud (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011)

El sistema de abastecimiento del recurso hídrico a una comunidad tiene como componente principal una o más fuentes que alimenten el sistema –obras de captación-, que pueden ser de tipo superficial (ríos, lagunas, etc.) o subterránea (manantiales, pozos, etc.) siempre con el objetivo de poder cubrir las necesidades del usuario final (Instituto Nacional de Normalización, 2008)

La norma técnica ecuatoriana INEN 1108:2011 y el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), norman los parámetros que se deben satisfacer para considerar que la calidad del agua sea apta para la distribución de consumo humano, que deberá tener un monitoreo permanente, de esta manera se asegura que los parámetros se encuentren en los valores permitidos (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011)

En cumplimiento con dicha disposición, se plantea evaluar la calidad del sistema de abastecimiento de agua potable correspondiente a la comunidad de Runahurco del Pasochoa. Mediante análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, tanto in situ como en laboratorio, se determinará sus valores. Posteriormente, se comparará los resultados obtenidos en relación con lo indicado en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), Anexo 1 del libro VI (Ministerio del Ambiente, 2015) y la Normativa Técnica Ecuatoriana INEN 1108:2020. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011). Los análisis que se realizarán para la caracterización del agua estudiada tomarán lugar en el laboratorio de tecnología y en el LDIA.

Subsiguientemente, se examinarán los resultados para proponer mejoras en el sistema de tratamiento del agua de la comunidad, mediante la generación de una memoria técnica. De esta manera el sistema garantizará el cumplimiento de la normativa vigente, TULSMA e INEN 1108:2020, cuyo impacto es una mejora en la calidad de vida de los habitantes de Runahurco.

El sistema de abastecimiento actual de la comunidad de Runahurco del Pasochoa capta el agua de tres vertientes: el Río del Cerro Pasochoa, La Cascada Padre Urco y un ojo de

agua cercano a la cascada. El agua pasa por tres sistemas de desinfección que tienen como objetivo cumplir con la norma mínima establecida.

El sistema de desinfección puede ser optimizado con relación a su eficiencia puesto que hay alteraciones en el mismo que no han sido consideradas como la presencia de variabilidad en los caudales o fenómenos naturales que traen complicaciones al funcionamiento del sistema.

## **1.1 Objetivo general**

Desarrollar una propuesta de mejora para el sistema de abastecimiento de agua de la comunidad de Runahurco del Pasochoa

## **1.2 Objetivos específicos**

1. Levantar información y recopilar datos existentes del sistema de abastecimiento de la comunidad de Runahurco.
2. Evaluar la calidad del agua del sistema de abastecimiento de Runahurco mediante el uso de metodologías correspondientes.
3. Elaborar una memoria técnica relacionada a la calidad del agua, tanto a sus características fisicoquímicas y microbiológicas; y propuestas de mejora a los sistemas de tratamiento actual

## **1.3 Alcance**

Se iniciará con visitas técnicas que permitan conocer la composición del sistema de tratamiento y su estado. De esa manera, se podrá definir los puntos para realizar el muestreo pertinente.

Se realizará el estudio de parámetros *in situ* de calidad de agua que corresponden a turbidez, oxígeno disuelto, pH, conductividad y temperatura, en dos puntos, mediante el uso del multiparámetro U52 y el turbidímetro portátil 2100Q.

Se tomarán las muestras correspondientes para la ejecución de los análisis de laboratorio necesarios para conocer de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos normados, que, a su vez nos permitirán determinar el índice de calidad del agua de las vertientes captadas. Una vez obtenidos los resultados de todos los análisis, se procederá a compararlos con lo especificado en la normativa vigente. Con la finalidad de plantear

mejoras en el ya existente sistema de tratamiento de aguas del sector y garantizar calidad final en el agua dispuesta para el consumo.

## **1.4 Marco teórico**

### **1.4.1 Calidad del agua**

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible rigen a países como Ecuador, a brindar a sus habitantes accesibilidad a saneamiento y agua limpia suficiente para satisfacer las necesidades presentes en el ámbito doméstico y personal, haciendo referencia al consumo e higiene para ambos casos (Secretaría de las Naciones Unidas et al., 2011) Es decir, se debe proveer agua de calidad y en cantidad que cumplan con el objetivo de dignificar la vida humana sin atentar contra los recursos y suministros de agua (Secretaría de las Naciones Unidas et al., 2011) Es destacable mencionar que calidad del agua y agua de calidad no se podrían definir como sinónimos.

La calidad del agua corresponde al conjunto de características químicas, físicas y biológicas (Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas (ONU-DADES) & ONU-Agua (UNW-DPAC), 2014). En caso de que no se altere dicha calidad por factores humanos, está se determinará por la erosión del substrato mineral, presencia de lixiviados naturales, sales, lodos y nutrientes y, presencia de procesos atmosféricos y biológicos (Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas (ONU-DADES), 2014)

Mientras que, al hablar sobre agua de calidad, se describe al líquido vital potabilizado. Es decir, agua que cumple con las normas establecidas para asegurar un suministro que no afecte negativamente la salud al ser consumida por humanos (Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas (ONU-DADES), 2014) Dichas normas tienen un aval científico por la aplicación de métodos fiables como el muestreo y caracterización, puesto que consideran niveles de toxicidad que son aceptables para el consumidor – humanos- y para los organismos acuáticos (Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas (ONU-DADES), 2014) .

#### **1.4.1.1 Índice de calidad del agua**

El índice de calidad del agua (ICA), es un sistema que, mediante el uso de relaciones matemáticas, explora la aptitud de un cuerpo de agua para conocer la calidad de este y su potencial uso en actividades específicas (Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET), 2016). En el caso de que la fuente se analice para consumo humano, se deberá complementar su análisis con el resto de los parámetros estipulados en la normativa correspondiente.

Existen varios índices de calidad para el recurso hídrico como lo son NSF, ICG, CCME, ICAUCA, etc.(García-González et al., 2021) En el presente proyecto se trabajará con el ICA-NSF, que como lo expresan sus autores en la publicación denominada “Determinación del índice de calidad del agua en ríos de Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador”, es el más adecuado en la determinación de la calidad del agua con pocos parámetros en relación con otros métodos. Cabe recalcar que, aunque este sistema es altamente recomendado para los ríos de Santo Domingo de los Tsáchilas, también resulta idóneo para otras fuentes pertenecientes al mismo territorio nacional por su amplia versatilidad con la que fue diseñada (García-González et al., 2021)

#### **1.4.2 Indicadores de calidad del agua**

Los indicadores de calidad del agua son valoraciones que se dan en el agua mediante evaluaciones de parámetros físicos, químicos y biológicos para conocer la calidad natural, los efectos de la actividad humana en la fuente y los posibles usos a los que se le destinar.

##### **1.4.2.1 Parámetros organolépticos**

Son parámetros que se pueden definir mediante el uso de los sentidos humanos, específicamente del uso de la visión, olfato y sabor. Se trata de la definición de las características del agua mediante el punto subjetivo. Este tipo de parámetros se consideran como una guía a la hora de selección del resto de parámetros puesto que es un indicador base del estado del agua (Torres et al., 2009)

*Tabla 1. Parámetros organolépticos seleccionados para caracterización*

<b>Clasificación</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Descripción</b>
Organolépticos	Olor y sabor	Tanto el olor como sabor son considerados parámetros determinantes al definir la aceptabilidad, puesto que el agua de calidad se relaciona a la ausencia tanto de olor como de sabor (Caminati et al., 2013)

##### **1.4.2.2 Parámetros físicos**

Los parámetros de este tipo brindan una perspectiva acerca de la naturaleza del contaminante físico presente en la muestra, para la obtención de dichos resultados se deben utilizar métodos que sean aprobados por los entes reguladores (Samboni et al., 2007). Case resaltar que estos parámetros no pueden identificar las repercusiones que tienen sobre el medio, sino solo idéntica los responsables de estas (Samboni et al., 2007).

*Tabla 2. Parámetros físicos seleccionados para caracterización*

<b>Clasificación</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Descripción</b>
----------------------	------------------	--------------------

Físicos	Turbiedad	La turbiedad es originada por la presencia de material coloidal (Caminati et al. 2013) Su presencia puede complicar los procedimientos de eliminación de microorganismos, pues se presume puede actuar como una capa protectora (Caminati et al. 2013).
	Color verdadero	Corresponde a color del agua una vez que ha pasado por el proceso de filtración. De esta manera, el color que se mide corresponde al remanente del filtrado, que solo cuenta con la presencia de sólidos disueltos.
	Valoración de sólidos	Define la presencia de sólidos suspendidos (materia con diámetro mayor 10 $\mu\text{m}$ ) y sólidos disueltos (materia con diámetro menor a 0.001 $\mu\text{m}$ ) y sus subcategorías como los sólidos volátiles y fijos tanto suspendidos como disueltos (Caminati et al. 2013)
	Conductividad	Es la propiedad del agua que le permite conducir corriente eléctrica, se relaciona con la cantidad de sales disueltas en la muestra (Caminati et al. 2013)
	Temperatura	Esencial para los procesos microbiológicos, su relevancia se ve reflejada en la aceleración o retardo en las actividades de los microorganismos presentes (Pérez, 2010).

#### 1.4.2.3 Parámetros químicos

Aborda la presencia de compuestos químicos en el agua al que se le realizará los análisis. Las sustancias químicas que se analizarán estarán relacionadas con la finalidad del uso del agua. Es decir, existen valores específicos que depende del origen y distribución del agua que ya se encuentran normadas (Caminati et al. 2013).

Las normas han fijado valores con el propósito de prevenir repercusiones negativas tanto en el medio ambiente como en el consumidor final, es así como dichos valores tienen cierta incertidumbre, aunque se recomienda reducir la presencia de las sustancias al mínimo de forma práctica, en relación con la eficiencia del sistema (Caminati et al. 2013)

Tabla 3. **Parámetros químicos seleccionados para caracterización**

Clasificación	Parámetro	Descripción
Químicos	Potencial hidrógeno (pH)	Su análisis debe ser <i>in situ</i> , se mide en el lugar donde se ha tomado la muestra (Caminati et al. 2013). Puede producir alteraciones en procesos químicos y en el sistema de distribución (Caminati et al. 2013).
	Alcalinidad y acidez	Hace referencia a la cantidad de protones presentes en el agua, se mide mediante la escala del pH.
	Fluoruros	Necesaria para una buena salud dental. Al contar con cantidades altas, enferma en aspectos osteo-esquelético, endócrino, dermatológicos y neurológicos (V. Romero et al., 2017).
	Fosfatos	Opera como un nutriente que promueve el desarrollo de algas y materia orgánica, incrementa la tasa de



		descomposición y produce eutrofización (Bolaños-Alfaro et al., 2017)
	Cloruros	En altas concentraciones proporciona un sabor salado al agua (Caminati et al. 2013)
	Manganeso	Proporciona al agua sabor, olor y color no deseados.
	Hierro	Sus formas oxidadas, al ser insolubles, afectan las características organolépticas en el agua.
	Sulfatos	En altas cantidades además de darle un sabor al agua, este también puede provocar un efecto laxante (Caminati et al. 2013)
	Nitritos	Efecto de la descomposición biológica de compuestos que tienen nitrógeno orgánico.
	Nitratos	Su presencia se debe a disoluciones de minerales y rocas y la descomposición de materia orgánica, tiene un alto impacto en el crecimiento de plantas (Bolaños-Alfaro et al., 2017)
	Oxígeno Disuelto	Funciona como un indicador de presencia de materia orgánica, la eutrofización y contaminantes líquidos, al disminuir afecta a la vida acuática (Acosta, 2015).
	Cloro	Una vez que el agua se ha desinfectada se mide, para conocer el valor inicial y compararlo con el residual.
	Cloro libre	Es el cloro residual que queda cuando ya ha sido destinado para consumo, se encuentra normado para evitar una ingesta peligrosa.
	Nitrógeno amoniacal	Un consumo prolongado del mismo en cantidades inadecuadas resultaría en daños a los organismos vivos.
	Demanda química de oxígeno (DQO)	Es la cantidad de oxígeno disuelto que se requiere para oxidar materia orgánica por medio de un agente químico (von Sperling, 2014)
	Demanda biológica de oxígeno (DBO)	Representa la materia orgánica presente en la muestra que se relaciona al consumo de oxígeno disuelto (von Sperling, 2014)

#### 1.4.2.4 **Parámetros microbiológicos**

Incluye análisis de microorganismos para asegurar su ausencia, específicamente de microorganismos fecales, puesto que eso ha sido lo establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS), de esta manera se asegura la inocuidad del agua dispuesta para el consumo humano (Caminati et al. 2013)

*Tabla 4. Parámetros microbiológicos seleccionados para caracterización*

<b>Clasificación</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Descripción</b>
Microbiológicos	Coliformes fecales y totales	El microorganismo más importante para su identificación es la presencia de Escherichia coli, una bacteria coliforme termo tolerante, responsable de miles de muertes anuales de infantes menores de cinco años a nivel mundial (BBC News, 2011). El principal medio de transmisión de este es efecto de la ingestión de

		agua o alimentos que no han sido desinfectados correctamente (BBC News, 2011).
--	--	--

### **1.4.3 Potabilización del agua**

Debido al requerimiento de consumir agua potable, las ingenierías civiles y ambientales fueron mejorando las tecnologías, todo con el fin de poder proveer este recurso para satisfacer las necesidades fundamentales del ser humano (J. Romero, 1999). La calidad de la fuente es variable, el diseño de las plantas de purificación también lo serán y su complejidad se relaciona a la calidad (J. Romero, 1999).

#### **1.4.3.1 Métodos de potabilización**

El diseño de una planta de tratamiento debe buscar la eficiencia del sistema sin necesidad de altas inversiones económicas, esas cualidades se obtienen cuando se ha realizado una correcta selección de las operaciones unitarias que componen el sistema de potabilización (J. Romero, 1999).

Los métodos de purificación de la fuente se establecen mediante estudios de tratabilidad y resultados de laboratorio (J. Romero, 1999). Algunas operaciones son el cribado, tratamiento químico, aireación, sedimentación, etc., siendo el requerimiento mínimo para consumo humano la desinfección.

El proceso de aireación mejora las condiciones del agua al estar en contacto de manera íntima con aire que produce un arrastre de sustancias volátiles, de esta manera, se procura realizar una transferencia de oxígeno disuelto, oxidación de hierro y manganeso, remoción de CO<sub>2</sub>, etc. (J. Romero, 1999)

El cribado es un mecanismo de remoción de sólidos suspendidos de un tamaño mayor al de la arena, este sistema requiere limpieza rutinaria con mayor frecuencia de ejecución en invierno, cuyo diseño depende las condiciones de la fuente (J. Romero, 1999).

La sedimentación contribuye a la generación de un agua clarificada, permitiendo sedimentar las partículas que lograron pasar por el cribado, pero requiere de condiciones de flujo, cargas superficiales y tiempo de retención controlados para funcionar eficientemente (J. Romero, 1999).

#### **1.4.3.2 Desinfección mediante el uso de cloro**

El agua que se distribuye siempre debe garantizarse libre de patógenos que son perjudiciales para la salud del ser humano, es decir, biológicamente segura, y ese es el objetivo de la desinfección (J. Romero, 1999).

Para cumplir con la desinfección, se puede hacer selección de uno de la amplia gama que se ofrece en el mercado como uso de cloro, dióxido de carbono, ozono, entre otros. Es conveniente considerar las opciones más convencionales y accesibles, que en este caso es el uso de cloro.

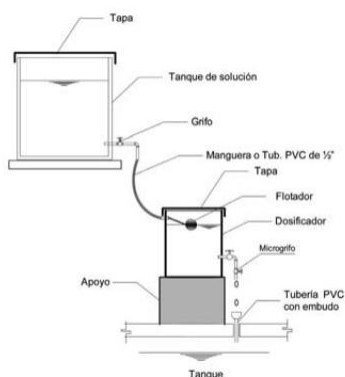
### **1.4.3.3 Hipoclorador por goteo constante**

Su uso es sencillo puesto que, depende de la gravedad para su funcionamiento, este asegura un flujo constante del desinfectante que será calculado con los valores de la dosificación en función del caudal. Este sistema es ideal para caudales de 0.3 L/s – 8.0 L/s, con turbiedad inferior a los 5 NTU y que tenga un pH entre 6.2 – 7,8 que garantiza una mayor eficiencia en la desinfección (Ministerio de Medio Ambiente y Agua et al., 2011).

Se usa el cloro como un agente desinfectante que es económico y factible para el propósito de exterminio de microorganismos indeseables, siempre y cuando se controle el cloro residual (Ministerio de Medio Ambiente y Agua et al., 2011). El compuesto que se usa para su funcionamiento tiene varias presentaciones como polvo, pastillas o forma granular, generalmente se lo consigue bajo la denominación de hipoclorito de calcio o sodio (Ministerio de Medio Ambiente y Agua et al., 2011).

En el presente trabajo, se abordará el hipoclorador por goteo con dos recipientes. Este consta de un recipiente con la solución madre y el otro con el dosificador que permite la salida de la solución con cloro de forma constante gracias a un flotador que se encuentra en su interior (Ministerio de Medio Ambiente y Agua et al., 2011).

**Figura 1 Hipoclorador por goteo de carga constante**



Fuente: (Ministerio de Medio Ambiente y Agua et al., 2011)

### **1.4.4 Normativa vigente**

Para saber los parámetros a evaluar en Ecuador, la normativa vigente es la Normativa Técnica Ecuatoriana INEN 1108:2020 enfocada en los requisitos a tomar en cuenta al

aprobar agua para consumo humano. Antes, se deberá saber escoger una fuente apropiada –Tabla 1: Agua cruda para consumo humano-, los parámetros a seguir se encuentran plasmados en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, Anexo I del libro VI.

No todos los criterios contemplados en la normativa serán aplicados, puesto que la fuente que será analizada no presenta contaminación cruzada. La contaminación cruzada se denomina al transporte de microorganismos patógenos que se encuentran en contacto con alimentos crudos, utensilios, telas, etc., posteriormente se transmiten a los alimentos listos para consumir (Organización Panameña de la Salud & Organización Mundial de la Salud, n.d.). Por ello, se han escogido los parámetros más pertinentes para las condiciones del sistema estudiado.

## **2 METODOLOGÍA**

En este capítulo se procede a explicar los métodos utilizados para el desarrollo de este proyecto, cuya finalidad es el entendimiento de los procesos aplicados para obtener los resultados en el siguiente capítulo. Se realizó el proyecto en diversas etapas, así se aseguró, cumplir con los objetivos del presente proyecto.

### **2.1 Levantamiento de información**

El proyecto inició al acudir al Gobierno Autónomo Descentralizado de Rumiñahui que es la entidad regente del sistema de abastecimiento de agua potable destinada para el sector de Runahurco. En esta visita se solicitó toda la información que se tenga del sistema de tratamiento hasta esa fecha.

#### **2.1.1 Visitas técnicas**

Se realizaron tres visitas técnicas, cada una en compañía de un representante del GAD. La primera fue para la identificación del sistema, se conoció la ubicación, las estructuras que lo componen, las fuentes que son captadas y la amplitud de abastecimiento de este.

En la segunda visita se realizó un recorrido en la comunidad para encuestar a los habitantes de la comunidad y se aseguró que solo una persona sea encuestada por hogar. En total se realizó nueve (9) encuestas. La encuesta es una herramienta para la obtención de información de primera mano, el enfoque que tuvo esta, fue de tipo cualitativo para tener una perspectiva del funcionamiento del sistema a lo largo del tiempo y de la percepción del consumidor sobre la calidad del agua. La encuesta constó de veinte (20) preguntas cerradas, de las cuales trece (13) de ellas corresponden al componente de calidad del agua, se puede revisar las encuestas en el Anexo II con sus debidas anotaciones. Además,

en la misma visita se definieron los puntos de muestreo y su georreferenciación con ayuda del GPS.

Finalmente, en la tercera visita, se midió los parámetros in situ y después, se tomó las muestras pertinentes para llevarlas al laboratorio.

### **2.1.2 Plan de muestreo**

El plan de muestreo es una herramienta que nos permitió conocer las necesidades que debían ser cubiertas al realizar el proceso de caracterización. Para ello se realizó la determinación de los puntos de muestreo, en función de su relevancia en el sistema, como el caso de las dos fuentes de captación, tres tanques de cloración y el último hogar que se abastece del sistema estudiado. Posteriormente, se le otorgó a cada punto un código de identificación (una letra y un número) para un fácil reconocimiento al momento de realizar su georreferenciación.

En el caso de la georreferenciación de los puntos, se llevó a cabo mediante el uso del GPS MAP64S en coordenadas UTM. Se procedió a prender el instrumento en el punto de inicio del sistema (Captación principal), se esperó un par de minutos para obtener la ubicación, se caminó de forma pausada siguiendo el diseño del sistema y se registró las coordenadas de los puntos de muestreo.

El plan de muestreo se basó en la información de la norma NTE INEN-2169 del 2013 que se relacionaba con el muestreo, conservación y transporte de muestras para determinar la calidad del agua, que se ejecutó tal como lo indica el documento mencionado anteriormente. Así, se completó el diseño del Plan de muestreo, Anexo III.

### **2.1.3 Catastro de operaciones de tratamiento**

En la segunda visita, se realizó un recorrido por las instalaciones del sistema de abastecimiento de agua potable de Runahurco. Así, se registró datos que nos permitieron la identificación de las características de los elementos e infraestructuras que componen el sistema, mediante un registro fotográfico y analítico de las particularidades de estos. En esta ocasión, el desarenador y los tanques de cloración.

## **2.2 Evaluación de la calidad del agua**

Para llevar a cabo la valoración de la calidad del agua, se requirió separar los parámetros que fueron analizados en dos grupos principales, los que se debían analizar in situ y los que se analizarán en laboratorio. De esta manera, al conocer los valores de los parámetros, se pudo conocer el índice de calidad, indispensable en la evaluación de una fuente hídrica.

### 2.2.1 Análisis *in situ*

Los parámetros *in situ* que se tomaron con la ayuda del Multiparámetro U52 fueron oxígeno disuelto, pH, conductividad y temperatura. Es cierto que también nos brindó el valor de la turbidez, pero se repitió la valoración de la turbidez con un turbidímetro para obtener un resultado más preciso por la sensibilidad del instrumento.

Una vez colocado el equipo de protección necesario para no contaminar las muestras, se procedió a armar el Multiparámetro U52 y se lo encendió. Mientras tanto, se identificó los puntos que fueron georreferenciados con anterioridad. Después, con la ayuda de una jarra plástica de aproximadamente un litro de capacidad, se enjuagó la misma tres veces con agua del cauce y se llenó de la muestra. La sonda se enjuagó con agua destilada y se ingresó en la jarra, se esperó un par de minutos hasta que los valores que se indican en la pantalla sean constantes.

Para obtener correctamente el valor de oxígeno disuelto, es necesario realizar una corrección que debía ser ajustada por la variación de la temperatura y altura a la que se encontró la captación, con la ecuación correspondiente. En este caso se realizó de manera manual, si embargo, hay instrumentos que realizan la corrección automáticamente.

$$C_s = \overline{C_s} * \frac{p - P_v}{P_{ATM} - P_v}$$

$C_s$  = Concentración de saturación de oxígeno

$\overline{C_s}$  = Concentración de saturación a una atmósfera

$p$  = Presión atmosférica

$P_v$  = Presión de vapor del agua a temperatura del agua

$P_{ATM}$  = Presión correspondiente a una atmósfera

#### ***Ecuación 1 Corrección concentración de saturación de oxígeno***

Fuente:(Castillo et al., 2004)

Para realizar la corrección de la saturación de oxígeno, se toma como variables: temperatura del agua en grados centígrados y la altura en metros del punto estudiado. Para ello, se interpoló los datos obtenidos con las tablas correspondientes a las cantidades de oxígeno disuelto en diferentes temperaturas y compensación de oxígeno disuelto por la presión atmosférica (Japanese Industrial Standard (JIS), 2012). Una vez se obtuvo el

resultado de la concentración de saturación de oxígeno se calculó el porcentaje de saturación.

$$\% \text{ saturación} = \frac{OD \text{ medido}}{C_s} * 100$$

### ***Ecuación 2 Porcentaje de saturación de oxígeno***

En el caso del turbidímetro portátil 2100Q, se inició el instrumento y se calibró para evitar errores en la lectura por el transporte del instrumento. Se enjuagó la celda con agua del cauce tres veces y se llenó de la muestra hasta el punto marcado en esta. Se ingresó la celda al instrumento y se midió los valores de turbidez. Dicho procedimiento se repitió en las dos captaciones, después de limpiar la celda utilizada con agua destilada antes de efectuar el siguiente análisis.

El cloro total se midió en cada tanque de cloración del sistema mientras que para el cloro libre residual se midió la cisterna que combina el agua captada con la solución madre de cloración, revisar Anexo III, mediante un medidor de cloro portátil DR 300. Para los dos tipos de cloro se efectuó el enjuague de la celda tres veces con agua del tanque de cloración y de la cisterna correspondientemente. Con la diferencia que para el cloro total sin generar turbulencia para no afectar el grado de disolución del hipoclorito de calcio y para el cloro residual homogenizando la muestra. Una vez que se contó con la muestra en la celda, se siguió el procedimiento descrito en el Manual de análisis de agua de Hach (Hach Company, n.d.). En el Anexo IV se encuentran imágenes que permiten ilustrar del proceso.

## **2.2.2 Análisis en laboratorio**

En laboratorio se aplicó varios métodos para determinar los valores correspondientes a cada parámetro, todos basados en el Manual Hach para los parámetros que fueron determinados por espectrofotometría y método de titulación para los restantes.

### ***2.2.2.1 Análisis de sólidos***

En laboratorio se realizó el procedimiento de medición de los sólidos de las muestras que fueron tomadas de los dos puntos de captación mencionados en el plan de muestreo. Se empleó el método gravimétrico para la determinación de sólidos totales, sólidos disueltos, sólidos suspendidos, sólidos suspendidos volátiles, sólidos suspendidos fijos, sólidos disueltos volátiles y sólidos disueltos fijos.

Se preparó los crisoles que serían utilizados para el análisis, se los identificó en relación con el tipo de análisis que se les iba a realizar. Usando siglas para su identificación: sólidos

totales (ST), sólidos suspendidos totales (SST), etc., revisar el Anexo IV. Los crisoles seleccionados (ST, SST, SDT) se ingresaron a una estufa previamente calentada a 105°C. Una vez transcurrió el tiempo de 24 horas, se los pasó al desecador hasta su uso, no sin antes pesarlos con una balanza analítica.

Una vez se homogeneizó la muestra, se colocó 25 ml en el crisol tarado, que es el equivalente a los sólidos totales, puesto que presenta la siguiente relación.

$$ST = SST + SDT$$

### ***Ecuación 3 Relación entre sólidos***

Los sólidos suspendidos y disueltos totales, se realizaron al coloca 25 ml de la muestra sobre una membrana de filtro colocada en el Kitasato para ser succionada por la bomba de vacío (Metcalf & Eddy, 2007). Se colocó la membrana en el crisol con las iniciales SST y el remanente del filtrado en el crisol identificado con SDT. Los tres crisoles se los regresó a la estufa a la misma temperatura inicial por 24 horas más (Metcalf & Eddy, 2007).

Transcurrió el tiempo indicado y se los llevó al desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente y se tomó el peso nuevamente. Así, se logró conseguir los resultados de sólidos totales (ST), sólidos disueltos totales (SDT) y sólidos suspendidos totales (SST).

$$ST = \frac{(Masa\ del\ crisol\ +\ residuo,\ g - Masa\ del\ crisol\ tarado,\ g) * 1000g}{Volumen\ de\ la\ muestra,\ L}$$

### ***Ecuación 4 Determinación de sólidos totales***

Fuente: (Metcalf & Eddy, 2007)

Para obtener el valor de los SST y SDT, se aplica la misma fórmula, pero con los pesos de los crisoles correspondientes que fueron previamente identificados.

Se llevó los crisoles a una mufla precalentada a 550°C durante una hora para determinar los sólidos restantes (SVT, SSV y SDV) (Metcalf & Eddy, 2007). Se los retiró de la mufla para llevarlos al desecador y se registró el valor mostrado en la balanza analítica, de esa manera se obtuvo los valores correspondientes a los sólidos fijos. El cálculo de los sólidos volátiles se encontró al aplicar una resta, puesto que los elementos biológicos son volátiles a dicha temperatura, es decir que, se estará pesando los sólidos no volátiles o inorgánicos (Metcalf & Eddy, 2007).

$$SVT = \frac{(Masa\ crisol\ +\ residuo\ tras\ evaporación,\ g - Masa\ crisol\ +\ residuo\ tras\ calcinación,\ g) * 1000g}{Volumen\ de\ la\ muestra,\ L}$$



## Ecuación 5 **Determinación de sólidos volátiles**

Fuente: (Metcalf & Eddy, 2007)

Para obtener el valor de los SSV y SDV, se aplica la misma fórmula, pero con los pesos de los crisoles correspondientes que fueron previamente identificados como SST y SDT.

### **2.2.2.2 Análisis parámetros químicos**

La ejecución de los análisis en laboratorio se realizó en función a los procedimientos descritos en el Manual de análisis de agua Hach (Hach Company, n.d.) ,aplicado en el uso del espectrofotómetro HACH DR 1900. Los parámetros medidos en laboratorio se efectuaron en la mayoría de los casos de manera similar, es decir, se procedió a corroborar que el material se encuentre en buenas condiciones. Se procedió a tomar dos o tres celdas, acorde a la necesidad del método. En cada análisis, se obtuvo un blanco y una muestra que nos brindó el valor buscado, el reactivo necesario y el número del programa.

Es importante recalcar que fue posible realizar los análisis mediante el método espectrofotométrico puesto que se encuentra aprobado en la Norma INEN 1108 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011) y por la NTE INEN 2169:2013 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013)

*Tabla 5. Parámetros medidos en laboratorio mediante espectrofotometría*

<b>Parámetro</b>	<b>Método</b>
Color verdadero*	Platinum-Cobalt Standard Method (Method 8025)
Fluoruros	USEPA SPANDS 2 Method (Method 10225)
Fosfatos	USEPA PhosVer 3 (Ascorbic Acid) Method (Method 8048)
Manganeso LR	1-(2-Pyridylazo)-2-Naphthol PAN Method (Method 8149)
Hierro Total	USEPA FerroVer Method (Method 8008)
Sulfatos	USEPA SulfaVer 4 Method (Method 8051)
Nitrito	USEPA Diazotization Method (Method 8507)
Nitrato	Cadmium Reduction Method (Method 8039)
Nitrógeno amoniacal	USEPA Nessler Method (Method 8038)
*Al ser color real, se requirió el filtrado tanto de la muestra como del agua desionizada.	
**Elaborada con información de (Hach Company, n.d.)	

### **Acidez**

Se determinó la acidez por hidrólisis mediante el método titulométrico, cuyo indicador fue la fenolftaleína. Su procedimiento constó de mezclar 100 ml de la muestra con tres gotas de indicador de fenolftaleína en un Erlenmeyer sobre una superficie blanca y se procedió a titular con hidróxido de sodio al 0.02N hasta el viraje de color a un tono rosado (el PROFE DH - QUÍMICA, 2021).

$$\text{Acidez} = \frac{\text{Volumen NaOH gastado, ml} * \text{Normalidad NaOH} * 50000}{\text{Volumen de la muestra, L}} \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CaCO}_3 \right)$$

**Ecuación 6 Determinación de acidez a la fenolftaleína**

Fuente: (Universitat Politècnica de València - UPV, 2021)

**Alcalinidad**

La alcalinidad se determinó mediante el método potenciométrico basado en el principio de neutralización. La alcalinidad a la fenolftaleína no se realizó por el pH de la muestra. Se colocó 100 ml de la muestra en un Erlenmeyer, se agregó tres gotas del indicador anaranjado de metilo, el cual se tituló con ácido sulfúrico hasta su viraje de color amarillo a naranja para conocer la alcalinidad total (el PROFE DH - QUÍMICA, 2021).

$$\text{Alcalinidad} = \frac{\text{Volumen H}_2\text{SO}_4 \text{ gastado, ml} * \text{Normalidad H}_2\text{SO}_4 * 50000}{\text{Volumen de la muestra}} \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CaCO}_3 \right)$$

**Ecuación 7 Determinación de alcalinidad total**

Fuente: (Universitat Politècnica de València - UPV, 2021)

**Cloruros**

La determinación de cloruros en la muestra se realizó mediante el método de Mohr. Se midió 10 ml de la muestra de agua y se lo pasó a un matraz Erlenmeyer de 250 ml (Universidad Politécnica de Madrid, 2013). Se añadió 50 ml de agua destilada. Se agregó 3-4 gotas de cromato potásico, con el pH metro se comprobó que se encuentre entre 6.3 y 10.5 (Universidad Politécnica de Madrid, 2013). Se procedió a valorar con el nitrato de plata por goteo en la solución, no sin agitar continuamente hasta que el viraje fue un rojo- rosáceo (Universidad Politécnica de Madrid, 2013). Se anotó el volumen de nitrato gastado y se calculó los resultados.

$$\text{Cl} = \frac{(\text{ml AgNO}_3 \text{ usado}) * \text{Peso equivalente CL} * \text{Normalidad AgNO}_3 * 1000}{\text{Volumen de la muestra}}$$

**Ecuación 8 Determinación de cloruros**

Fuente: (Martínez, 2021)

### ***Demanda Química de Oxígeno***

Finalmente, se realizó el análisis de la demanda química de oxígeno (DQO) mediante el uso del espectrofotómetro. Se prendió el digestor DR200 para que alcanzase la temperatura necesaria para el análisis. Para ello, se utilizó el método USEPA Reactor Digestion Method, el cual consistió en preparar el vial de rango bajo con 2 ml de la muestra, que se mezcló repetidas veces, no sin olvidar sacar el gas generado en el vial. Se introdujo los viales, dos para cada tipo de muestra de la captación junto a su blanco y se dejó en el digestor por dos horas. Una vez transcurrió ese tiempo, se dejó enfriar por media hora y se ingresó en el espectrofotómetro seleccionado el programa 431 COD LR para encerrar el resultado con el blanco y se midió los viales correspondientemente.

La Demanda Biológica de Oxígeno se encuentra relacionada con la Demanda Química de Oxígeno, cuya relación nos reveló la fracción de biodegradabilidad presente en la muestra analizada. La biodegradabilidad permite conocer las características contaminantes y las variables relacionadas a estas, ideal para la selección de procesos de tratamiento en aguas residuales (Molina, 2015). Es decir, una alta fracción biodegradable en relación DQO/DBO, nos demuestra baja probabilidad de contaminación por acciones antropogénicas, puesto que representa una alta presencia de materia orgánica (Technal, 2014) .

#### ***2.2.2.3 Análisis parámetros biológicos***

Se realizó el análisis correspondiente para la determinación de coliformes totales y coliformes fecales. Se colocó 10 ml de la solución Verde Brillante y Bilis al 2% por tubo con una campanita de Durham respectivamente, un total de ocho tubos, puesto que se realizó el análisis para dos muestras. Se calentó a 100<sup>o</sup> C durante 30 minutos y se realizó la siembra correspondiente. Para ello se utilizó 6 celdas con 9 ml de agua de dilución cada una. Es decir, que se realizó una dilución 10<sup>-0</sup>, 10<sup>-1</sup>, 10<sup>-2</sup> y 10<sup>-3</sup>, para cada muestra. Una vez que se realizó la siembra en los tubos, se incubó a 35°C durante 48 horas para la determinación de coliformes (Ñuñoa, n.d.).

#### **2.2.3 Índice de calidad del agua**

El índice de calidad del agua es un método bastante aplicado al valorar las características del recurso. Se realizó mediante la evaluación de parámetros representativos que han sido integrados mediante análisis tanto cualitativos como cuantitativos, para definir holísticamente la condición y estado del recurso hídrico (García-González et al., 2021). El ICA-NSF es una de las variables del ICA, cuya particularidad recae en los parámetros elegidos para la evaluación y los valores otorgados a estos.

El ICA-NSF se llevó a cabo mediante un promedio ponderado, en el cual a cada parámetro que se considera para la evaluación se le ha otorgado un porcentaje con relación a su importancia. Dicho valor se multiplicó por el subíndice adimensional de transformación para cada uno de los nueve parámetros que conforma este ICA.

**Tabla 6. Ecuación ICA-NSF**

Índice	Ecuación	Observaciones
NSF	$ICA = \sum_{i=1}^n Wi * Ii$	Promedio aritmético ponderado: Wi: peso o porcentaje asignado al i-ésimo parámetro Ii: subíndice de i-ésimo parámetro

\* La tabla es una fracción de la original (García-González et al., 2021)

Los subíndices correspondientes a los nueve parámetros que se analizan se encuentran definidos en la siguiente tabla.

**Tabla 7. Pesos relativos de los parámetros para el ICA-NSF**

Parámetro	Peso relativo (Wi)
Oxígeno Disuelto	0.17
Coliformes Fecales	0.15
Potencial Hidrógeno	0.12
DBO	0.10
Temperatura	0.10
Fosfatos	0.10
Nitratos	0.10
Turbidez	0.08
Sólidos Disueltos Totales	0.08

\* Adaptación (Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET), 2016)

Es importante recordar que para encontrar las equivalencias de las medidas de cada parámetro que se obtuvo en laboratorio, se hizo uso de las gráficas de equivalencia encontradas en el documento de “Índice de calidad del agua” que fue presentado por el Servicio Nacional de Estudios Territoriales. Se estimó la calidad del agua en relación con la escala de clasificación del ICA, que fue propuesto por Brown como una versión

modificada del *Water Quality Index (WQI)*, que se puede encontrar en el texto mencionado anteriormente (Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET), 2016).

#### **2.2.4 Comparación con la normativa**

En el Anexo 1 del libro VI del TULSMA, se puede encontrar varias tablas que hacen referencia a la calidad del agua. En este caso se optó por el uso de la Tabla 1 que aborda los criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico, cuyos valores son la pauta principal para determinar las condiciones del agua analizada.

Una vez que se aseguró el agua captada dentro de los parámetros evaluados, se procedió a analizar los requerimientos físicos y químicos con la tabla 1 y los requisitos microbiológicos con la tabla 2 de agua para consumo humano encontrados en el NTE INEN 1108:2020.

### **2.3 Propuesta de mejoras**

La propuesta de mejora se elaboró en relación con los resultados obtenidos de la valoración de los procesos, análisis in situ, análisis de laboratorio y el índice de calidad del agua. Una vez se contó con los resultados correspondientes a cada sección, se realizó una evaluación del sistema con las normativas correspondientes. Así, se detectó los parámetros que no se encuentran acorde a la normativa, inconvenientes en el sistema de tratamiento, etc. Finalmente, se examinaron opciones de busquen solucionar las fallas detectadas.

#### **2.3.1 Procesos físicos**

Se realizó la evaluación de los procesos físicos que son parte del sistema. Para ello, se tomó como referencia lo expresado en el Capítulo 4: Captaciones, de la Norma de Diseño de Sistemas de Agua Potable para la EMAAP-Q del 2008

##### **2.3.1.1 Aireador de cascada**

Sistema de aireación que funciona por gravedad, elimina el requerimiento energético. Para conocer su eficiencia, se debe aplicar la siguiente fórmula.

$$H = \frac{R - 1}{0.361 * a * b * (1 + 0.046 * T)} ; R = \frac{C_s - C_o}{C_s - C}$$

Siendo  $R =$  Relación deficitaria de oxígeno

$C_s =$  concentración de saturación de OD a la  $T$ , mg/L

$C_o =$  Concentración de saturación de OD antes de la aireación, mg/L

$C$  = Concentración de saturación de OD después de la aireación, mg/L

$H$  = Altura de caída del agua, m

$T$  = Temperatura, °C

$a$  = 1.25 para agua limpia de río

$b$  = 1.1 para agua limpia de río

### **Ecuación 9 Altura de la cascada de aireación**

Fuente: (J. Romero, 1999)

Para conocer los diferentes criterios de diseño, se revisó el cuadro 2.2 del libro de potabilización del agua, que nos ofrece los valores típicos para una correcta oxigenación mediante el sistema de cascadas (J. Romero, 1999).

#### **2.3.1.2 Cribado**

El sistema de cribado se diseñó con los criterios mencionados en el Código Ecuatoriano de la Construcción C.E.C., CPE INEN 5 Parte 9-1:1992. Se tomó como referencia del diseño de cribado de barras rectangulares con un espesor de 5 mm por el tipo de material que se desea separar (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 1992).

$$Au = Bc * \frac{e}{e + b} * \left(1 - \frac{G}{100}\right)$$

Siendo  $Au$  = Área útil, m<sup>2</sup>

$Bc$  = Ancho del canal, m

$e$  = Espacio entre barrotes, m

$b$  = Ancho de los barrotes, m

$G$  = Grado de obstrucción

### **Ecuación 10 Área útil de la reja**

Fuente: (R. Romero, 2015)

Una vez se contó con el área, se debe definir la profundidad que tendrá la reja. El tipo de limpieza que se realizará será manual, por ello no puede ser tan profunda.

$$P = Q * \frac{b + e}{\left(1 - \frac{G}{100}\right) * Vp * e * Bc}$$

Siendo  $P =$  Profundidad de las rejillas,  $m$

$$Q = \text{Caudal}, \frac{m^3}{s}$$

$$Vp = \text{Velocidad a través de la rejilla}, \frac{m}{s}$$

**Ecuación 11 Profundidad de la rejilla**

Fuente: (R. Romero, 2015)

Después, se conoce la cantidad de barrotes que requiere el sistema, de manera simultánea se conocerá la cantidad de espacios que se encuentran entre los barrotes.

$$N = \frac{Bc - e}{b + e}$$

**Ecuación 12 Número de barrotes**

Fuente: (R. Romero, 2015)

Finalmente, se calculó la pérdida de carga de energía que se ve afectada. No sin olvidar, conocer la eficiencia del sistema. Sobre todo, se notará una mayor relevancia el sistema de cribado en época de invierno que afecta a los primeros usuarios del sistema.

$$\Delta H = \frac{Vp^2}{9.1}$$

Siendo  $\Delta H =$  Pérdida de carga,  $m$

$$Vp = \text{Velocidad a través de la rejilla}, \frac{m}{s}$$

**Ecuación 13 Pérdida de carga**

Fuente:(R. Romero, 2015)

Hay que considerar que el valor de la pérdida de carga no sea grande, puesto que repercutirá en el resto de las operaciones, según lo indicado por Lozano-Rivas a considerar aceptable (R. Romero, 2015).

### **2.3.1.3 Desarenador**

El desarenador contribuirá a la sedimentación del material particulado que no logró ser retenido en el cribado. Los criterios que cumplir de un desarenador son la forma que este que tener, con una relación longitud ancho, profundidad y tiempo de retención. En este aspecto, se puede conseguir un correcto dimensionamiento con las siguientes fórmulas.

$$V_s = \frac{1}{18} * g * \left( \frac{\rho_s - \rho}{\mu} \right) * d^2 ; Re = \frac{V_s * d}{\mu}$$

Siendo  $V_s$ : Velocidad de sedimentación  $\left(\frac{cm}{s}\right)$

$Re$ : Número de Reynolds

$g$ : Gravedad

$\rho_s$ : Densidad de la arena

$\rho$ : Densidad del agua

$\mu$ : Viscosidad cinemática del agua

$d$ : Diámetro de la partícula

#### **Ecuación 14 Velocidad de sedimentación**

Fuente: (Organización Panamericana de la Salud, 2005)

Se comprobó la velocidad límite para evitar que se vuelva a suspender el material que se desea retener.

$$V_d = \sqrt{\frac{8k}{f} * g * (\rho_s - 1) * d}$$

Siendo  $V_d$ : Velocidad de sedimentación  $\left(\frac{cm}{s}\right)$

$k$ : Factor de forma

$f$ : Factor de rugosidad

#### **Ecuación 15 Velocidad de desplazamiento**

Fuente: (Organización Panamericana de la Salud, 2005)

Se realizó un reajuste de los valores que se obtuvo para corroborar que se encontrase dentro de los criterios de diseño, al comprobar el número de Reynolds y el coeficiente de arrastre.

$$C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0.34$$

Siendo  $C_D$  = Coeficiente de arrastre



### *Ecuación 16 Coeficiente de arrastre*

Fuente: (Organización Panamericana de la Salud, 2005)

Finalmente, se realizó el cálculo del tiempo de retención para que la sedimentación se haga de manera satisfactoria.

$$P_R = \frac{\text{Volumen}}{\text{Caudal}}$$

### *Ecuación 17 Tiempo de retención*

Fuente: (Organización Panamericana de la Salud, 2005)

#### **2.3.2 Sistema de desinfección**

Según los requisitos que se encuentran normados para el agua de consumo humano, se debe asegurar el proceso de desinfección sin tomar en cuenta la calidad del agua o métodos anteriores a este.

El sistema de desinfección pensado para este proyecto es un hipoclorador de goteo constante. Para ello, se realizó el diseño de un tanque de cloración que contenga la solución madre y del tanque de mezclado, en donde se determinará el tiempo de retención para garantizar un proceso eficiente.

El método utilizado para el cálculo de la dosis del desinfectante se basó en el método concentración-tiempo, que responde a la siguiente fórmula.

$$C * t = K$$

Siendo  $C = \text{Concentración del desinfectante}$

$t = \text{Tiempo de retención}$

$K = \text{Constante de aplicación}$

### *Ecuación 18 Constante K*

Fuente: (EMPRESA METROPOLITANA DE ALCANTARILLADO Y AGUA POTABLE, 2008)

Para determinar el valor de K, se debe hacer uso del cuadro 6.2 que se encuentra en la Norma de Diseño de Sistemas de Agua Potable, puesto que la eficiencia de los procesos físicos es superior al 95% como lo establece la norma. De esa manera, se logrará encontrar el valor del tiempo de retención.

Con el dato del tiempo de retención, se pudo calcular el volumen del tanque requerido para asegurar la desinfección apropiada.

$$V = Q * t$$

Siendo  $V = \text{Volumen del tanque, } m^3$

$$Q = \text{Caudal, } m^3/s$$

#### **Ecuación 19 Volumen del tanque de contacto**

Después se calculó el consumo neto de cloro neto, denominado CCLN.

$$CCLN = Q \times Ds$$

Siendo  $Ds = \text{Dosificación del cloro, } \frac{kg}{d}$

#### **Ecuación 20 Consumo del cloro neto**

Fuente: (Flores & Guillén, 2021)

Para eventualmente conocer el consumo de cloro (Ccl), con respecto al porcentaje del cloro activo con el que se está trabajando.

$$Ccl = \frac{Q \times Ds}{Ca}$$

Siendo  $Ca = \text{Cloro activo}$

#### **Ecuación 21 Consumo de cloro**

Fuente: (Flores & Guillén, 2021)

De esa manera se puede encontrar el caudal para la solución clorada que se aplicará en el sistema, qcl.

$$qcl = \frac{CCLN}{SCL}$$

Siendo  $SCL = \text{Solución de cloro al 70\%}$

#### **Ecuación 22 Caudal de la solución clorada**

Fuente: (Flores & Guillén, 2021)

Una vez se conoció la demanda de cloro que se debe satisfacer, es imperativo conocer las dimensiones del tanque de solución madre. Por lo cual se aplicó las siguientes fórmulas.

$$Va = Q * tr$$

Siendo  $Va = \text{Volumen del agua, L}$

$Q = \text{Caudal, L/s}$

$tr = \text{Tiempo de recarga} \rightarrow 15 \text{ días} = 1296000\text{s}$

#### **Ecuación 23 Volumen solución madre**

Fuente: (Flores & Guillén, 2021)

Y para conocer el peso del cloro a usar, se aplicó:

$$P = \frac{Va \times Ds}{10 \times \% \text{ de cloro}}$$

#### **Ecuación 24 Peso del cloro**

Fuente: (Flores & Guillén, 2021)

Una vez realizó el análisis del peso del cloro a usar en la desinfección, se determinó la concentración máxima de la solución para evitar cristalización del cloro en la manguera que conecta el tanque de la solución madre con el tanque dosificador.

$$CM = \frac{P \times \% \text{ de cloro}}{Va}$$

#### **Ecuación 25 Concentración máxima de la solución**

Fuente: (Flores & Guillén, 2021)

Finalmente, se realiza el cálculo que permita regular el caudal por goteo en el volumen del tanque designado.

$$Qg = \frac{Vt}{tr}$$

Siendo  $Qg = \text{Caudal de goteo}$

$Vt = \text{Volumen del tanque por goteo, ml}$

#### **Ecuación 26 Concentración máxima de la solución**

Fuente: (Flores & Guillén, 2021)

### 2.3.3 Operación y mantenimiento

Una sección complementaria es la operación y mantenimiento que se debe aplicar al sistema actual en pro de garantizar un sistema lo más eficiente posible, de esta forma, se procura cumplir con el periodo de diseño para el cual el actual sistema se diseñó y en el mejor de los casos, alargar dicho periodo. Se redactó con el objetivo de guiar a los actuales encargados a mejorar los procesos ejecutados tanto en la operación como el mantenimiento del sistema.

Para realizar la limpieza de los componentes del sistema, se requiere de un cálculo específico para cada sistema de abastecimiento de agua potable tal como lo indica el Ministerio de Viviendas, Construcción y Saneamiento de Perú.

El primer paso es la selección de la concentración adecuada en relación con cada uno de los componentes que forman el sistema. Dicha dosificación se encuentra en la Tabla N°1, Dosificación para desinfectar componentes del sistema de agua potable presentado en el “Manual de limpieza y desinfección de los componentes del sistema de agua potable”, que nos permite conocer la concentración del desinfectante, tiempo y agua para realizar la dilución (Ministerio de Vivienda, 2021).

Al conocer el volumen de los componentes y la concentración de cada uno de ellos, se determinó el peso requerido del desinfectante utilizado para la desinfección de cada uno de los componentes del sistema.

$$Pd = \frac{\text{Concentración, ppm} * \text{Volumen del elemento, m}^3}{(\% \text{ Cloro}) * 10}$$

Ecuación 27 **Peso del desinfectante**

Fuente: (Ministerio de Vivienda, 2021)

Una vez se conoce la dosificación para la desinfección, se procederá a la limpieza y desinfección de los diferentes componentes.

### 2.3.4 Presupuesto

Se realizó la estimación del presupuesto para la ejecución de las mejoras presentadas con anterioridad. Se utilizó los rubros presentados en el 2019 por la EPMAPS para la elaboración del presupuesto correspondiente.

## 2.4 Memoria técnica

Se elaboró una memoria técnica que permita conocer a la comunidad de Runahurco y al GAD Parroquial de Rumiñahui la propuesta de mejora, e esta manera, la socialización del proyecto resulta más amigable para el lector. En la memoria técnica, Anexo VI, se presentó las condiciones actuales del sistema tanto del sistema como con relación a la calidad del agua, la propuesta de mejora, conclusiones y recomendaciones.

### **3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1 Levantamiento de información**

La información brindada por el Gobierno Autónomo Descentralizado de Rumiñahui acerca de los análisis de la calidad del agua, específicamente del agua que llega al tercer tanque de cloración que a su vez es de almacenamiento, Anexo V, en la cual constan los resultados del año anterior y correspondiente al cuarto mes del presente año. Se nos revela que los parámetros considerados son turbidez, potencial hidrógeno, coliformes fecales, color aparente, fluoruros y nitratos. No existe un análisis de coliformes fecales ni totales que es indispensable en el agua destinado a consumo humano. Sin embargo, se ha considerado la presencia de quistes de *Cryptosporidium* y *Giardia Lamblia* en su lugar como parámetro indicador.

En el anexo V, los parámetros al ser comparados con la normativa correspondiente se encuentran en valores aceptables, más se destaca el potencial hidrógeno que en tres ocasiones de los catorce análisis se han encontrado inferiores a lo normado, es decir que, el 21.43% del tiempo, el pH es un parámetro inferior. El pH bajo, se relaciona con la acidez, pero no repercute en el usuario (Suh & Rodríguez, 2017), además no afecta en los tratamientos de desinfección posteriores.

##### **3.1.1 Visitas técnicas**

El sistema de abastecimiento de Runahurco se encuentra en Pasochoa, norte de Amaguaña. Inicia en la captación del Río San Pedro de Pasochoa. A unos pocos metros, se encuentra un desarenador de cuatro cámaras con separaciones de malla.

Figura 2 **Inicio del sistema de tratamiento de Runahurco**



Siguiendo la línea de conducción que es presurizada, se encuentra un tanque de cloración madre junto a un tanque de almacenamiento para la solución madre, a dichos elementos se los conocerá como el primer tanque de cloración. Es importante mencionar que, a partir de dicho tanque, ya existen pobladores que se abastecen del sistema de agua potable, de manera legal o no.

Figura 3 **Primer tanque de cloración**



Por otra parte, se encuentra la cascada Padre Urco, cuya vertiente se mezcla con un ojo de agua en un tanque de unión de vertientes, que da origen a la captación dos. Esta segunda captación es usada en época de sequía, cuando la captación principal no abastece a la creciente población o en caso emergente, cuando la primera captación no pueda ser utilizada por contaminación por sedimentos.

Figura 4 **Segunda captación**



El agua de la primera y segunda captación se mezclan al llegar en el segundo tanque de cloración. Después, el agua es transportada hasta el tercer tanque de cloración que trabaja

a su vez como un tanque de almacenamiento, para abastecer al resto de población. El sistema abastece a 71 familias actualmente de manera aproximada, en un promedio de 4.5 usuarios por hogar. Es decir, una población actual de 320 habitantes.

La información de primera mano es relevante para conocer de mejor manera el sistema. Es así como las encuestas destinadas a los usuarios del servicio de agua potable que es ofrecido por el municipio correspondiente nos permiten tener una perspectiva actualizada y veraz de aquellos que lo emplean diariamente de la manera más objetiva posible.

De los nueve encuestados podemos conocer que todos cuentan con servicios básicos como lo son el agua potable, la energía eléctrica e internet, pero ninguno con alcantarillado, y que dichas familias tienen como fuente principal de consumo el agua entubada del sistema actual.

Ocho de las nueve personas ocupan el agua para alimentación e higiene lo cual sería ideal para el tipo de agua que se provee. Ahora bien, de dichos usuarios el 67% (6 encuestados) conocen de dónde proviene el agua para su comunidad, pero solo cuatro de ellos conocen el tratamiento de este recurso y solo uno de ellos ha recibido información del servicio de agua y la calidad de este en los últimos meses.

El 77.78% de los usuarios considera que el sistema de agua de Runahurco tiene una buena calidad. Dicha resolución se puede relacionar con que, a lo largo de su uso, ninguno ha presentado síntomas de enfermedades relacionadas al consumo de agua (infección intestinal, dolor de cabeza, etc.), que se vincula con que todos usan como método de seguridad hervir el agua antes de ingerirla.

Es importante recalcar que, aunque los usuarios han manifestado que no han percibido ningún sabor particular en el agua, cuatro de ellos reportan que, específicamente en invierno, el agua llega a sus hogares con una tonalidad café producto de las precipitaciones y en casos extremos con material particulado.

Existe un caso particular, en el que un usuario notifica un color blanquecino en el agua. De la mano de este caso, dos personas coinciden en sentir un olor a cloro. Dichas eventualidades coinciden con la reposición del cloro en los tanques de tratamiento.

### **3.1.2 Plan de muestreo**

Los puntos de muestreo seleccionados para realizar los análisis fueron en total seis (6), que se presentarán a continuación con el código correspondiente. El proceso de tomas de muestras se realizó a la par con la georreferenciación, de esta manera se consiguieron las coordenadas.

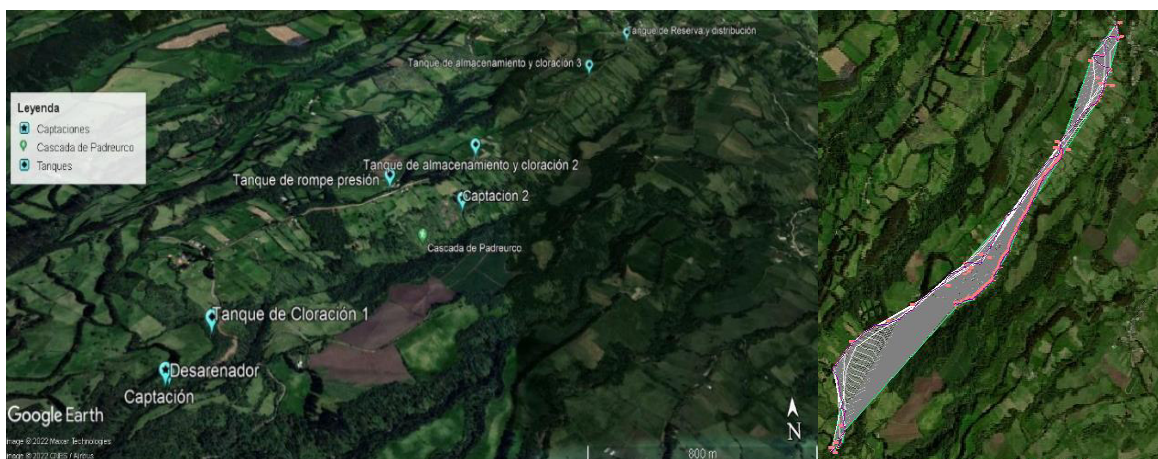
El sistema de abastecimiento es amplio, que parte desde la captación uno hasta la última casa que recibe el servicio de agua potable, se habla exactamente de una longitud de 6.9 km. Las tuberías de conducción atraviesan tanto terreno privado como público con el objetivo que todos los moradores puedan acceder a este preciado recurso.

**Tabla 8. Puntos de muestreo con georreferenciación**

Código	Nombre	Coordenadas UTM	Descripción
C1	Captación 1	17M 783231 9951621	Captación del Río San Pedro de Pasochoa
C2	Captación 2	17M 784498 9952820	Unión de La Cascada Padre Urco y ojo de agua
T1	Tanque de cloración 1	17M 783341 9951834	Tanque de cloración situados después del desarenador
T2	Tanque de cloración 2	17M 784454 9953071	Tanque que une las dos captaciones
T3	Tanque de cloración 3	17M 785323 9954025	Tanque final para distribución
F	Casa final	17M 785826 9954966	Última casa en recibir el servicio de agua potable del sistema

Para ilustrar las coordenadas presentados en la tabla 8, se presenta a continuación la colocación de estas en Google Earth. De esta manera, obtener una visión clara de la amplitud y ubicación del sistema de abastecimiento de agua potable de Runahurco.

**Figura 5 Sistema de abastecimiento en Google Earth**





### 3.1.3 Catastro de operaciones de tratamiento

El primer proceso unitario que se encontró fue un desarenador de hormigón ubicado en la cota 3344 m.s.n.m., con un largo de 2 m, ancho de 1 m y una profundidad de 1.32 m, es decir, un volumen de 2.64 m<sup>3</sup>. Este cuenta con un sistema de cuatro cámaras separadas con mallas que retiene el material más fino. El desarenador obtiene su caudal de la captación 1 hacia el primer tanque de cloración.

Figura 6 **Desarenador**



A 287.03 metros se encuentra el primer tanque de cloración, en la cota 3337 m.s.n.m., con las siguientes coordenadas: 17M 783341 9951834. Este tanque es de 0.82 m de largo, 0.72 m de ancho y cuenta con una profundidad de 0.9 m. Cuya capacidad es de 0.531 m<sup>3</sup>.

Figura 7 **Tanque de cloración uno**



Por otro lado, se encuentra la captación dos. Esta es una mezcla de dos caudales, uno que nace en la Cascada Padre Urco y una segunda vertiente efecto de un ojo de agua. Las dos vertientes se mezclan en un tanque con un volumen de 1.5m<sup>3</sup> encontrado en la cota 3042 m.s.n.m., en la coordenada 17M 784364 9952782.

Figura 8 **Captación dos**



Después, se encuentra el tanque de cloración dos. Este tanque combina el caudal de la captación uno y el caudal del caudal dos. Se encuentra en la cota 3132 **m.s.n.m.**, y coordenadas 17 M 784454 9953071, con un ancho y largo de 6m y una altura de 3m, que nos da un volumen de 108 m<sup>3</sup>. Al realizar la toma de muestra de este tanque, se visibilizó presencia de materia orgánica en su interior de color verdoso en el fondo del tanque y sus paredes.

Figura 9 **Tanque de cloración dos**



A 1397.89 m del tanque de cloración dos se encuentra el tanque de cloración tres. Este último tanque de cloración se encuentra en la cota 2999 m.s.n.m., con la coordenada 17M 785323 9954025. A diferencia del resto de tanques de cloración, este tiene una forma cilíndrica, cuyo diámetro es de 4.5m y una altura de 3.1m, que nos da un volumen de 49.30 m<sup>3</sup>.

Figura 10 **Tanque de cloración tres**



En todos los tanques de cloración se encontraba junto un tanque con una capacidad 500L que contenía la solución madre de cloro administrada en los tanque para su desinfección. El problema encontrado en todos los tanques que contienen la solución de cloro, es la presencia de material sedimentado en el fondo del tanque, efecto del material insoluble del hipoclorito de calcio usado. Además, ninguno cuenta con un flotador que permita mantener la dosificación constante. Es así que, el proceso de desinfección no tiene un control de dosificación ni tiempo de retención en ninguno de los tanques de cloración.

Figura 11 **Sedimentación tanques de solución madre**



### **3.2 Evaluación de calidad del agua**

La evaluación de la calidad del agua requiere que se realice la comparación de resultados que se obtuvieron tanto in situ como en laboratorio. Para poder realizar una comparación con la normativa correspondiente.

El agua que se provee a la comunidad estudiada, Runahurco, se analizó en dos etapas: la primera corresponde a las cualidades que posee el agua cruda y la segunda, un análisis posterior al tratamiento de esta, ambos amparados en la normativa correspondiente para cada captación. Los resultados que se obtuvo en campo y laboratorio se han unificado en su tabla correspondiente, junto con los criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico que corresponde a la Tabla 1, del TULSMA 2015 para agua cruda.

### 3.2.1 Análisis *in situ*

Los parámetros *in situ* se analizaron por duplicado de cada parámetro para corroborar la respuesta. Se realizó un promedio para conocer las condiciones de la forma más certera.

Tabla 9. Comparación parámetros *in situ* con la normativa TULSMA

Parámetro	Unidad	C1	C2	Normativa TULSMA
Conductividad**	milimhos/cm	0.172	0.031	0.7
Temperatura	°C	12.2	14.9	<30
Oxígeno Disuelto*	% de saturación	69.55	55.09	> 80
Potencial hidrógeno	pH	6.71	6.11	6 – 9
Turbiedad	UNT	0	1.3	100

\*Se ha tomado el valor que la Tabla 2 de TULSMA puesto que no se ha considerado este parámetro en la Tabla 1.

\*\*Se ha tomado el valor que la Tabla 4 de TULSMA puesto que no se ha considerado este parámetro en la Tabla 1.

En la **Tabla 9**, podemos observar que los parámetros se encuentran en rangos aceptables para la normativa de agua cruda. Sin embargo, resalta que las dos captaciones tienen unas cifras inferiores al 80% de oxígeno disuelto. El oxígeno disuelto es un parámetro indicador de calidad de agua que puede mejorar con un adecuado sistema de movimiento. Al tener aguas estancadas o con velocidades bajas, la absorción de oxígeno se difunde lentamente provocando una disminución en el porcentaje de saturación presente. Además, nos permite conservar las especies que habitan en la misma producir mayores afectaciones en el medio.

### 3.2.2 Análisis en laboratorio

Para los parámetros en laboratorio también se evaluaron por duplicado. Los valores presentados en la tabla 11 corresponden a un promedio. Los valores obtenidos fueron muy similares, con error inferior en 0.0001%.

#### 3.2.2.1 Análisis de sólidos

Los sólidos analizados nos permiten conocer el funcionamiento del desarenador. La presencia de sólido es un factor altamente considerable, puesto que al generar turbiedad crea ciertas percepciones en el consumidor acerca del agua que consume.

**Tabla 10. Valoración de sólidos en captaciones**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>
Sólidos Totales	mg/l	76	136
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	4	4
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	72	132
Sólidos Disueltos Volátiles	mg/l	16	24
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	4	4

Se ha tomado como referencia la Tabla 4 de TULSMA puesto que no se ha considerado este parámetro en la Tabla 1, que corresponde a Sólidos Disueltos Totales (SDT) con un valor de 450 mg/L. Las dos captaciones tienen SDT en un valor aceptable para la normativa. Se puede observar que, en ambas muestras, existe mayormente una presencia de sólidos disueltos volátiles que materia suspendida volátil, se podría ver beneficiado con la aireación por la volatilización que produce el incremento de oxígeno disuelto. Por otra parte, los sólidos disueltos se componen principalmente de material inorgánico mientras que los sólidos suspendidos son en su totalidad materia orgánica.

### **3.2.2.2 Análisis parámetros químicos**

No se realizó el análisis de DBO en las muestras, la razón fundamental de esta es la presencia de valores insignificantes de DBO que se corrobora al haber realizado el análisis de DQO, cuyo resultado fue cero. De esta manera, se determina que las muestras no se pueden biodegradar por la ínfima presencia de materia orgánica.

**Tabla 11. Comparación parámetros cuyo análisis se hizo en laboratorio con la normativa TULSMA (Tabla 1)**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>Normativa TULSMA</b>
Acidez	mg/l	5	9.5	-
Alcalinidad	mg/l	12.5	19.5	-
Color verdadero	Pt – Co	11	13	75
Cloruros	mg/l	19.5	23.04	-
Demanda biológica de oxígeno (DBO)	mg/l	0	0	<2
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/l	0	0	<4

Fluoruros	mg/l	0	0.27	1.5
Hierro Total	mg/l	0.02	0.05	1.0
Nitratos	mg/l	0.6	1.1	50
Nitritos	mg/l	0.005	0.004	0.2
Nitrógeno amoniacal*	mg/l NH <sub>3</sub>	0.02	0.01	22
Manganeso*	mg/l	0.033	0.030	0.1
Sulfatos	mg/l	0	1	500
*Se ha tomado el valor que la Tabla 3 de NTE INEN 1108 puesto que no se ha considerado este parámetro en la Tabla 1.				

El caso de la acidez y alcalinidad no han sido consideradas en ninguna tabla del TULSMA. Sin embargo, nos permiten conocer la concentración de iones de hidrógeno en el agua que ha sido analizada. De esta manera, tenemos la posibilidad de evitar rangos extremos en la valoración de pH que puede desencadenar en una serie de reacciones químicas indeseables, como la transformación de compuestos no tóxicos en derivados que atenten a la estabilidad del ecosistema.

Por otra parte, se encuentran los cloruros que, aunque no figuren en la normativa, su análisis es necesario para conocer si es probable sufrir afectaciones en las conducciones del sistema o en desarrollo de la flora cercana. Al ser una fuente de tipo natural, la presencia de cloruros no es alta. Así, se obvia la posibilidad de problemas posteriores por dicho parámetro.

Todos los parámetros analizados tienen valores aceptables en comparación a la normativa, que se consideran despreciables por su poca concentración en las muestras. Nos permiten reconocer que el agua cruda es satisfactoria para su aplicación en operaciones que destinen este recurso a consumo humano.

### **3.2.2.3 Análisis parámetros biológicos**

Se realizó la prueba presuntiva con el objetivo de verificar la presencia tanto de coliformes fecales como totales por la facilidad del caldo escogido. El resultado fue un negativo absoluto para las dos captaciones en las cuatro diluciones que se realizaron para cada muestra, se puede revisar el Anexo IV para visualización.

**Tabla 12. Comparación parámetros biológicos cuyo análisis se hizo en laboratorio con la normativa TULSMA**

Parámetro	Unidad	C1	C2	Normativa
-----------	--------	----	----	-----------

				<b>TULSMA</b>
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	0	0	1000

Las captaciones no presentan contaminación patógena por Coliformes Fecales. En el análisis realizado también se comprobó la ausencia de Coliformes Totales que, aunque no se encuentre normado, es un indicador relevante en la determinación previa de posibles enfermedades en los usuarios. Además, cabe mencionar que en los análisis presentados por el GAD parroquial afirman la ausencia de quistes de *Cryptosporidium* y *Giardia Lamblia*. Se determina que el agua es segura para consumo, pero es indiscutible la necesidad de un proceso de desinfección puesto que es imprescindible en aguas destinadas a consumo humano.

### 3.2.3 Análisis de parámetros post tratamiento

Por otra parte, el agua que recibe el usuario es el resultado de un sistema de desinfección básico. El agua cualificada para consumo humano toma en consideración una cantidad de parámetros más extensa que al seleccionar la fuente. En este aspecto, la NTE INEN 1108:2020 es la fuente utilizada para la comparación de la calidad del agua resultante del tratamiento.

*Tabla 13. Comparación de análisis del agua para consumo humano con la normativa*

Parámetro	Unidad	C1	C2	Normativa INEN 1108:2020
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	-	-	Ausencia
Color aparente	Pt – Co	12	14	15
Fluoruros	mg/l	0	0.27	1.5
Nitratos	mg/l	0.6	1.1	50
Nitritos	mg/l	0.005	0.004	3
Potencial hidrógeno	pH	6.71	6.11	6.5 – 8
Turbiedad	UNT	0.38	1.25	5

El agua que consumen los habitantes de la comunidad de Runahurco cumple con los parámetros establecidos por la normativa presentados en la **Tabla 13**. Es importante recalcar que el valor del pH sigue siendo un parámetro fuera del rango permitido, este es inferior a 6.5, en la muestra tomada de la segunda captación.

La mezcla de las tres fuentes captadas pasa por el proceso de tratamiento y son los que abastecen a la ciudadanía. El resultado del cloro libre total que se encontró en la última casa es de **0.02 mg/l** cuando el rango es de 0.3 a 1.5 mg/l. Dicho valor nos revela una incorrecta dosificación del desinfectante, la cantidad usada del desinfectante es baja puesto que al pasar por el sistema se desvanece por inferior del rango permitido.

**Tabla 14. Análisis de cloro en el agua para consumo humano**

Parámetro	Unidad	T1	T2	T3
Cloro total	mg/l	0.55	0.68	0.50
Cloro libre	mg/l	0.28	0.26	0.13





También se realizó una prueba de cloro libre residual y de cloro total en cada tanque de cloración, tres en total, tal como lo indica el plan de muestreo. La tabla nos permite identificar que en ninguno de los tanques hay un valor de cloro libre acorde a la normativa.

En los análisis realizados, se han encontrado una serie de irregularidades en el tratamiento de desinfección. En el primer tanque, el caudal de rebose se lleva la mayor parte del cloro utilizado para la desinfección, siendo un desperdicio del recurso y un proceso ineficiente. En el segundo y tercer tanque, se hace uso de un tanque de almacenamiento, pero no existe un control en la dosificación al igual que ocurre en el primer tanque.

### 3.2.4 Índice de calidad del agua

Para conocer el índice de calidad, se ha hecho uso de nueve parámetros que mediante su ponderación nos presentan la categoría a la que pertenecen las dos fuentes analizadas. De esta manera, se conocerá la clasificación a la que pertenece cada vertiente, fruto de los análisis fisicoquímicos realizados, de la forma más objetiva posible.

**Figura 12 Clasificación ICA propuesta por Brown**

CALIDAD DE AGUA	COLOR	VALOR
Excelente		91 a 100
Buena		71 a 90
Regular		51 a 70
Mala		26 a 50
Pésima		0 a 25

Fuente: ( Lobos, J., 2002, como se citó en Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET), 2016)



Al conocer la ponderación de cada uno de los parámetros seleccionados con anterioridad, se procedió a realizar la suma que nos indicó el rango al que corresponde con relación a la calidad del agua, tal como se observa en la figura anterior.

**Tabla 15. Evaluación ICA-NSF de la captación 1**

Parámetro	Medición	Unidad	Peso relativo (Wi)	Subíndice C1	Valor
<i>Oxígeno Disuelto</i>	69.55	% saturación	0.17	72	12.24
<i>Coliformes Fecales</i>	0	NMP/100 mL	0.15	100	15
<i>Potencial Hidrógeno</i>	6.71	pH	0.12	75	9
<i>DBO</i>	0	mg/ L	0.1	100	10
<i>Temperatura</i>	12.2	°C	0.1	18	1.9
<i>Fosfatos</i>	0.12	mg/ L	0.1	99	9.9
<i>Nitratos</i>	0.6	mg/ L	0.1	99	9.9
<i>Turbidez</i>	0.38	mg/ L	0.08	99	7.92
<i>Sólidos Disueltos Totales</i>	72	mg/ L	0.08	86	6.88
Valor del ICA-NSF					82.74

Según la clasificación propuesta por Brown, el agua de la captación número uno, es un agua de buena calidad, que corresponde al rango de 71 a 90. Como se puede observar en la tabla, parámetros como oxígeno disuelto que tiene el mayor peso es uno de los parámetros que generan un descenso en la calidad del agua. La temperatura también juega un papel relevante, tanto para el potencial hidrógeno como para el oxígeno disuelto.

**Tabla 16. Evaluación ICA-NSF de la captación 2**

Parámetro	Medición	Unidad	Peso relativo (Wi)	Subíndice C1	Valor
<i>Oxígeno Disuelto</i>	55.09	% saturación	0.17	50	8.5
<i>Coliformes Fecales</i>	0	NMP/100 mL	0.15	100	15
<i>Potencial Hidrógeno</i>	6.11	pH	0.12	58	6.96
<i>DBO</i>	0	mg/ L	0.1	100	10
<i>Temperatura</i>	14.9	°C	0.1	10	1
<i>Fosfatos</i>	0.84	mg/ L	0.1	94	9.4
<i>Nitratos</i>	1.1	mg/ L	0.1	96	9.6
<i>Turbidez</i>	1.25	mg/ L	0.08	96	7.68

<i>Sólidos Disueltos Totales</i>	132	mg/ L	0.08	81	6.48
Valor del ICA-NSF					74.62

Al guiarnos de la misma tabla de clasificación propuesta por Brown, con un 74.62 de valor de ICA, el agua de la segunda captación se considera de buena calidad. Al igual que el agua de la primera captación, existe inconvenientes en el oxígeno disuelto, potencial hidrógeno y temperatura. Sin embargo, en este caso son más evidentes las complicaciones producidas por estos parámetros debido a que representan valores más bajos que en el caso de la primera captación.

### **3.3 Propuesta de mejoras**

La propuesta de mejoras establece métodos que solucionarán los problemas, con el objetivo de optimizar el sistema de tratamiento actual. Además, se ha procurado trabajar con las estructuras ya existentes para que represente una menor inversión de recursos.

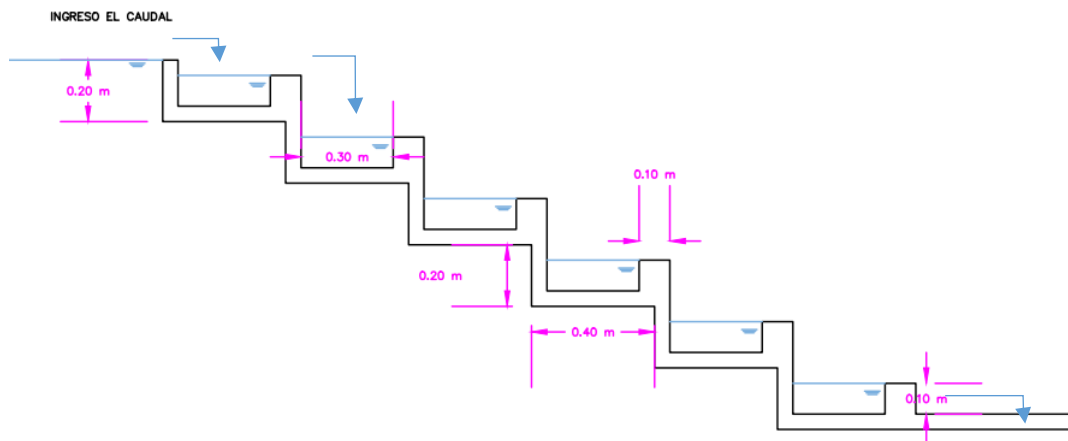
#### **3.3.1 Procesos físicos**

Los procesos físicos son necesarios en ese entorno. El agua de la captación 1, tiende a verse afectada en temporadas invernales. Es por ello por lo que se ha planteado mejoras para que el sistema se efectúe de la mejor manera y se garantice al consumidor el líquido vital durante todo el tiempo.

##### **3.3.1.1 Aireador de cascada**

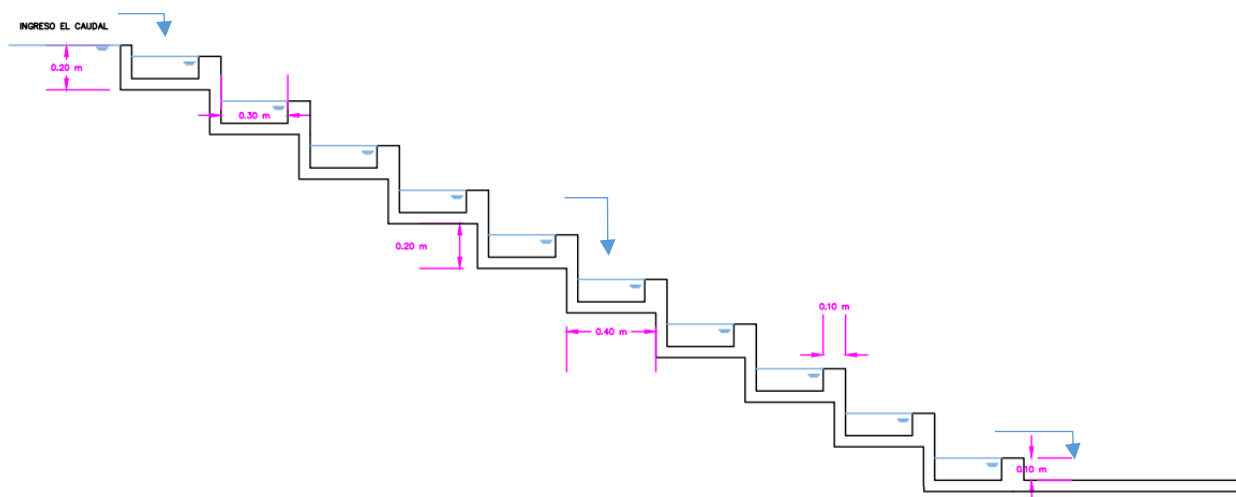
El objetivo principal del aireador es la corrección del oxígeno disuelto que es inferior a lo permitido por la normativa vigente. Es así como se ha considerado que la Concentración de saturación (Cs) de 5,75 mg/L para cumplir con la normativa en la primera captación. De esta manera, al realizar el cálculo pertinente, se determinó una altura total de 1.20 m. Sería un sistema de aireación tipo cascada de seis (6) escalones, cada uno de 20 cm de altura y un ancho de 30 cm.

Figura 13 **Diseño de aireador de cascada captación 1**



Para la segunda captación, el sistema de aireación propuesto se ha establecido con una  $C_s$  de 5.5 mg/L, de esta manera se logra alcanzar con la normativa. En este caso se requiere un aireador de 1.85 m. En aireador de cascada de 10 escalones de 20 cm cada uno con un ancho 30 cm. Este deberá ser colocado antes de ingresar al tanque que combina el caudal de las dos vertientes.

Figura 14 **Diseño de aireador de cascada captación 2**



Si se desea realizar aireación haciendo uso de otro método, existe la posibilidad de la colocación de un tubo Venturi. Sin embargo, es importante considerar que el diámetro del tubo es proporcional al caudal que se oxigenará (Robles, 2021). De esa manera, para oxigenar el caudal del tanque, es necesario un tubo Venturi de una pulgada que requiere un método experimental para corroborar su eficiencia (Robles, 2021). Los aireadores son el inicio del proceso de tratamiento, estos se conectan al siguiente proceso mediante el uso de una tubería plástica del 110 mm de diámetro.

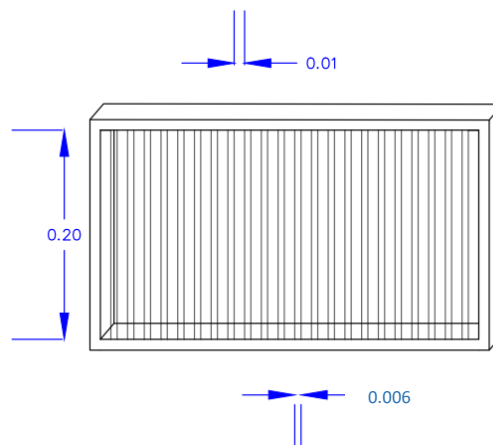
### 3.3.1.2 Cribado

El canal actualmente que conduce el agua hacia el desarenador tiene un ancho de 0.36 m. En la presente propuesta, se ha realizado el cálculo con dicho ancho para evitar inferior mayores gastos en su construcción.

Se ha diseñado un sistema de cribado de rejillas rectangulares de 36 cm de ancho y 20 cm de profundidad. Para ello se ha considerado una velocidad de 0.1m/s que es la más próxima a la velocidad verdadera del canal. Por motivos de tiempo, se ha realizado un dimensionamiento mayor para que pueda ser útil en época de invierno de manera aproximada, puesto que el proyecto se realizó en verano.

El área útil del cribado sería de 0.16 m<sup>2</sup>, compuesto de 22 rejillas con un espesor de 6 mm y un espaciamiento de 1 cm. Además de una pérdida de carga de 0.11cm que se considera aceptable.

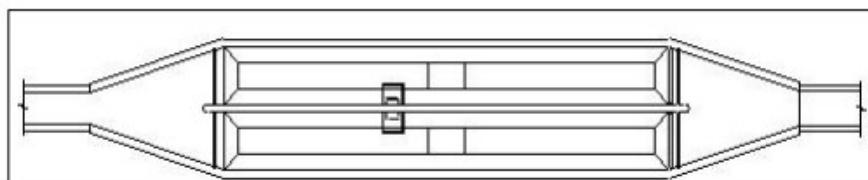
Figura 15 **Diseño del cribado**



### 3.3.1.3 Desarenador

Realizando el análisis del desarenador actual, este requiere un tiempo de retención de 14 minutos para lograr sedimentar partículas de 0.002 cm, dicho tiempo no se cumple. Es por esa razón que se propone el diseño de un desarenador de dos unidades en paralelo en la obra ya existente.

Figura 16 **Desarenador de dos unidades paralelas**



Fuente: (Organización Panamericana de la Salud, 2005)

La figura 16 ofrece una idea más clara del diseño de un desarenador. El objetivo es trabajar con un desarenador de 0.20 m de ancho, manteniendo el largo actual, pero reduciendo la profundidad a 0.5m, así se cumple la relación de 10 entre el largo/ancho. Tomando esas medias, los dos desarenadores deberían cumplir un tiempo de retención de 2.10 minutos para que el proceso sea efectivo. Con un borde de 20 cm.

*Tabla 17. Diseño del desarenador*

Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Ancho (m)	Largo(m)	Profundidad (m)	Tiempo de retención (minutos)	Velocidad de sedimentación (cm/s)	Velocidad de resuspensión (cm/s)	Velocidad horizontal (cm/s)
0.001595	0.2	2	0.5	2.1	1.783309	0.181685	0.003988

### 3.3.2 Sistema de desinfección

El sistema de desinfección propuesto es un hipoclorador de goteo constante específico para cada tanque de cloración del actual sistema. Es importante mencionar que se ha decidido mantener los tres tanques de cloración actuales, puesto que ya existe una población que hace uso del servicio después de cada tanque de cloración.

Se escogió la dosis de 1.4 mg/L para los tres tanques de cloración, de esa manera se ha determinado un tiempo de retención en función de su temperatura y pH correspondiente.

*Tabla 18. Tiempo de retención del sistema de desinfección*

Ubicación	Dosis (mg/L)	K (mg*min./L)	Tiempo de retención calculado (minutos)	Tiempo de retención (minutos)
Hipoclorador de goteo constante N°1	1.4	39	27.85	30
Hipoclorador de goteo constante N°2	1.4	18	12.86	15
Hipoclorador de goteo constante N°3	1.4	22	15.71	20

Una vez determinado el tiempo de retención, se realizó el cálculo del volumen necesario para asegurar la desinfección.

*Tabla 19. Volumen tanque de contacto*

<b>Ubicación</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Tiempo (segundos)</b>	<b>Volumen tanque de contacto calculado (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen del tanque de contacto actual (m<sup>3</sup>)</b>
Hipoclorador de goteo constante N°1	0.00154	1800	2.77	2.64
Hipoclorador de goteo constante N°2	0.0013	900	1.17	108
Hipoclorador de goteo constante N°3	0.0023	1200	2.76	39.30

Al realizar una comparación entre el volumen de los tanques actuales y los calculados, se puede comprobar que no se completaría de manera ideal el proceso de desinfección.

*Tabla 20. Volumen tanque de contacto*

<b>Ubicación</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Volumen del tanque de contacto actual (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Tiempo (segundos)</b>
Hipoclorador de goteo constante N°1	0.00154	2.64	1714.28
Hipoclorador de goteo constante N°2	0.0013	108	83076.92
Hipoclorador de goteo constante N°3	0.0023	39.30	17086.95

Con el volumen actual de los tanques, se requiere un tiempo de retención de:

- Hipoclorador de goteo constante N°1, requiere un tiempo de 28.57 min, aproximadamente media hora.
- Hipoclorador de goteo constante N°2, requiere un tiempo de 1384.62 min, aproximadamente 23 horas y cinco minutos.
- Hipoclorador de goteo constante N°3, requiere un tiempo de 284.78 min, aproximadamente 4 horas y 45 minutos.

La propuesta de los hipocloradores se ha realizado con Hipoclorito de Calcio al 70%, que es de los más comunes y accesibles en el mercado. Dando como resultado los siguientes datos.

*Tabla 21. Demanda de cloro*

Ubicación	Q (m3/d)	Dosificación (kg/m3)	CCLN (kg/d)	Demanda de cloro (kg/d)	Caudal de la solución clorada (L/min)
Hipoclorador de goteo constante N°1	133.056	0.0014	0.19	0.27	0.18
Hipoclorador de goteo constante N°2	112.32	0.0014	0.16	0.22	0.16
Hipoclorador de goteo constante N°3	198.72	0.0014	0.28	0.40	0.28

La demanda presentada se aplicaría en los volúmenes de los tanques de cloración calculados con el tiempo de retención teórico, correspondiente para cada uno de los hipocloradores.

*Tabla 22. Peso de cloro a usar en el sistema de desinfección*

Ubicación	Volumen de agua tratada (m <sup>3</sup> )	Peso del cloro * (gramos)
Hipoclorador de goteo constante N°1	1995.84	3991.68
Hipoclorador de goteo constante N°2	1684.80	3369.6
Hipoclorador de goteo constante N°3	2980.80	5961.6
*Peso de cloro para un periodo de recarga de 15 días		

En la tabla 22 se expresa el requerimiento de cloro en gramos para un periodo de recarga de 15 días. Sin embargo, si el tiempo de recarga fuese inferior el peso sería directamente proporcional.

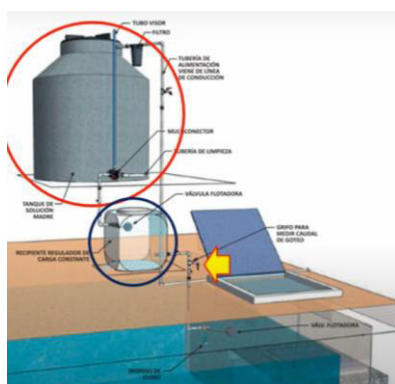
*Tabla 23. Preparación de la solución madre*

Ubicación	Vol. Tanque solución madre (L)	Concentración Máxima (mg/L)	Caudal de goteo (ml/min.)
Hipoclorador de goteo constante N°1	600	4656.96	27.78
Hipoclorador de goteo constante N°2	500	4717.44	23.15
Hipoclorador de goteo constante N°3	850	4909.55	39.35

La solución madre deberá colocarse en un taque que logre abarcar la mezcla cuya concentración máxima sea inferior a los 5000 mg/L. El tanque de la solución madre deberá

conectarse a un tanque de dosificación de 40 litros con un flotador interno que mantenga las condiciones constantes hasta la recarga de la solución madre. Los tanques deben ser de PVC y tener tapa, además de contar con una válvula de depuración y el sistema de tubería correspondiente para el goteo.

Figura 17 **Esquema sistema de desinfección por goteo constante**



Fuente: (Ministerio de Viviendas, 2021)

### 3.3.3 Operación y mantenimiento

El proceso de desinfección se deberá efectuar en todos los sistemas de tratamiento, a fin de garantizar agua de calidad sin la presencia de suciedad, parásitos, etc., de esta manera se evitarán enfermedades infectocontagiosas en el consumidor (Ministerio de Vivienda, 2021).

Es importante notificar a los usuarios del sistema la ejecución del mantenimiento puesto que esto representa la suspensión del servicio por el tiempo que dure este. Además, el mantenimiento de los componentes del sistema deberá ser mínimamente una vez al mes, este periodo irá variando con las inspecciones que se le realicen al sistema, para los tanques de cloración, la frecuencia recomendada es cada 15 días, al recargar el tanque.

Antes de iniciar con el mantenimiento del sistema, el encargado se deberá preparar con equipo de protección, herramientas e insumos que aseguren su integridad física y un correcto desarrollo de sus actividades (Ministerio de Vivienda, 2021).

Figura 18 **Insumos necesarios para operaciones de mantenimiento del sistema**





Fuente: (Ministerio de Vivienda, 2021).

En esta ocasión, el agente desinfectante será hipoclorito de calcio al 70%. La cantidad que se aplicará en cada componente se presenta a continuación.

**Tabla 24. Preparación de solución para mantenimiento del sistema**

Componente	Volumen (L)	Concentración (mg/L)	Peso desinfectante, kg (Hipoclorito de calcio al 70%)
Desarenador	2.64	150	0.57
Captación 2	1.5	150	0.32
Tanque de cloración 1	0.53	50	0.04
Tanque de cloración 2	108	50	7.71
Tanque de cloración 3	49.3	50	3.52
Tanque de reserva	27	50	1.93
<b>Líneas de conducción</b>			
Tramo desarenador – T1 (63 mm)	0.89	200	0.25
Tramo T1 – T2 (63 mm)	6.50	200	1.86
Tramo T2 – T3 (63 mm)	4.36	200	1.25
Tramo C2 – T3 (110 mm)	5.03	200	1.44
Tramo T3 – Tanque de reserva y distribución (63 mm)	3.76	200	1.07

El peso del hipoclorito usado para el proceso de desinfección deberá ser disuelto en 20 litros de agua. Una vez se cuente con esta dilución se debe continuar el proceso de mantenimiento acorde a las siguientes indicaciones (Ministerio de Vivienda, 2021):

1. Limpie el exterior de las estructuras y áreas circundantes.
2. Desagüe el reservorio, captación o tanque mediante las válvulas de purga o tubería de rebose.

3. Friegue el interior con la ayuda de una escobilla, procurando no olvidar los accesorios o esquinas.
4. Retire los sedimentos con la ayuda de un trapo, escobas, etc., según lo amerite el caso y enjuague con abundante agua.
5. Disuelva la cantidad de hipoclorito de calcio al 70% para cada elemento en 20 litros de agua, dicho peso fue previamente calculado en la **Tabla 24**.
6. Humedezca un cepillo o un trapo con el desinfectante y proceda a fregar por todo el interior.
7. Enjuague con abundante agua un par de veces.
8. Finalmente, coloque en su posición original los accesorios como tubería de rebose para reactivar el funcionamiento del sistema.

Se debe recordar que la solución debe mantenerse un tiempo prudencial en el elemento que se esté limpiando, de esta manera se asegura una correcta acción de parte del desinfectante (Ministerio de Vivienda, 2021). El tiempo de contacto entre la línea de conducción, tanques, reservorios y demás, se logra al cerrar las válvulas que permiten su flujo.

Una vez finalizado el proceso de mantenimiento del sistema, se recordará a los usuarios no consumir el agua sino hasta 4 horas. Sin embargo, el agua se podrá usar para actividades que no se relacionen al aseo personal o alimentación por el cloro residual del proceso de mantenimiento (Ministerio de Vivienda, 2021).

### 3.3.4 Presupuesto

El presupuesto es esencial para conocer las posibilidades de aplicación de las propuestas de mejora. Se realizó un presupuesto con las principales actividades (limpieza, construcción y finalización), de cada una de las propuestas que se presenta con mayor desglose en el Anexo VI.

*Tabla 25. Presupuesto de la propuesta de mejora*

<b>Propuesta</b>	<b>Precio (USD)</b>
<b>Desarenador</b>	450.98
<b>Rejilla</b>	86.40
<b>Aireador 1</b>	839.73
<b>Aireador 2</b>	1206.57
<b>Desinfección</b>	1213.07

El total de la implementación es aproximadamente de **3796.75 USD**, hay que recordar que se han incluido los rubros totales relacionados a cada actividad, asegurando ser lo más similar a la realidad posible. Sin embargo, si se contase con elementos como tanques, válvulas y demás, los costos se reducirán.

Como se observa en la tabla, la mayor cantidad del presupuesto se destinará al proceso de desinfección, el valor reflejado contempla la implementación de tres hipocloradores de hipoclorito de calcio, uno en cada tanque de cloración. Aun así, la desinfección no es el rubro más costoso, sino que el aireador para la captación dos lo destituye de dicha posición, efecto directo de la cantidad de gradas que se requiere el proceso de oxigenación del recurso. Retomando la mención que se realizó en la propuesta, la aireación puede darse mediante la aplicación de un tubo Venturi como una alternativa a los aireadores cascada.

### **3.4 Memoria técnica**

La memoria técnica, Anexo VII, se realizó como una herramienta visualmente atractiva y un resumen del proyecto presentado. Esta cuenta con una breve introducción de la situación actual para dar paso a los resultados relacionados con la calidad del agua obtenidos experimentalmente, que a su vez nos permiten la posibilidad de generar una propuesta de mejora para el sistema, tanto en el sistema de tratamientos físicos como en el proceso de desinfección.

## **4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1 Conclusiones**

- Se determinó que actualmente el sistema abastece a una población 320 habitantes, que equivale a 71 familias que en promedio presentan 4.5 usuarios por hogar. Dichas familias, hacen uso del recurso a partir del primer tanque de cloración, he ahí la importancia de mantener tres sistemas de desinfección funcionales.
- Se estableció que en el proceso de tratamiento de la comunidad de Runahurco presenta inconvenientes en el cribado en época de invierno por la presencia de material sólido (ramas, lodo, hojas, etc.), el desarenador no sedimenta correctamente las partículas por el escaso tiempo de retención y el proceso de desinfección desperdicia recursos sin garantizar las condiciones aceptables de cloro residual establecido por la NTE INEN 1108.
- Al comparar los resultados de los análisis químicos, físicos y microbiológicos con la normativa TULSMA, encargada de indicar los valores aceptables de parámetros

específicos en el líquido vital crudo destinado al consumo humano, se encontró que el único parámetro considerado no aceptable es el oxígeno disuelto puesto que se encontró debajo de la cifra normada tomada de la tabla 2 como referencia. Por otra parte, la presencia de sólidos totales, se componen principalmente de sólidos disueltos totales del tipo orgánico, es decir, volátil.

- Asimismo, en los estudios realizados en el agua ya destinada para consumo posterior al tratamiento se comparó con lo presentado en la NTE INEN 1108, los resultados de los análisis tanto químicos, físicos y biológicos, determinó que el parámetro problemático es el pH, al ser inferior al rango aceptable. En este aspecto, se corroboró que es una falencia frecuente en las dos captaciones con los resultados ofrecidos por el GAD Parroquial.
- En la evaluación del Índice de Calidad del Agua (ICA-NSF), se conoció que el agua de las captaciones se cataloga como de buena calidad, al encontrarse en el rango de 71 a 90 en la escala propuesta por Brown, con un valor de 82.74 y 74.62 correspondientes a la primera y segunda vertiente respectivamente, siendo aceptables para el consumo humano. Los parámetros que inciden negativamente en la calidad son el oxígeno disuelto, el potencial hidrógeno y la temperatura, que coincidentemente tienen mayor peso en la ponderación.
- Garantizando la calidad del agua, se ha propuesto la mejora en el sistema de tratamiento para que esta cumpla con todos los parámetros normados. Este contempla un aireador tipo cascada para cada captación que aumente el oxígeno disuelto en el agua. No obstante, asegurando un correcto proceso físico se plantea un nuevo diseño en el sistema de cribado y un perfeccionamiento en el desarenador, dichas actividades se encargarán de los sólidos que son un contratiempo en época de invierno. Finalmente, una mejoría para el proceso de desinfección es la implementación de un hipoclorador por goteo constante en cada uno de los tanques de desinfección con hipoclorito de calcio al 70%, la aplicación de este sistema asegura el cumplimiento de cloro residual mencionado en la NTE INEN 1108 que actualmente no se obedece.
- La propuesta de mejora tiene un costo total de 3796.75 USD, cuya mayor inversión será en el sistema de desinfección. El precio total puede reducirse en caso de contar con elementos similares a los requeridos en la propuesta de mejora. Además, se puede ir realizando el proceso por etapas, que significa un gasto inferior paulatino.

## **4.2 Recomendaciones**

- El análisis de calidad realizado en las fuentes captadas determinó la buena calidad de estas, por ello se recomienda un cuidado de las fuentes de captación para preservar sus cualidades, dicha actividad debe ser efectuada por los moradores de la comunidad y representantes del GAD parroquial mediante un trabajo en conjunto. Siendo las recomendaciones principales la no deforestación de la zona aledaña a la captación, manteniendo el sector ganadero alejado de las vertientes y realizar recorridos de limpieza en cercanías de los elementos del sistema.
- Por otra parte, en los recorridos realizados se visualizó presencia de verdín en las paredes de los tanques de cloración, es por lo que se deberá establecer frecuencias de limpieza y mantenimiento a las estructuras de almacenamiento del recurso y todo el resto de los componentes, cuya periodicidad sea inferior a 6 meses. La relevancia de esta recae en la potencial generación de trihalometanos al combinarse con el cloro del tratamiento, la obstrucción de tuberías y pérdida de presión, presencia de parámetros organolépticos que generen rechazo en el consumidor, etc. La manera de evitar contratiempos es a ejecución de operaciones de mantenimiento y limpieza con regularidad.
- De la mano de esta, es recomendable ofrecer charlas y capacitaciones a la comunidad en relación con el aprovechamiento del recurso sin malgastarlo, métodos de desinfección desde el hogar, conservación del medio ambiente y trabajo colaborativo entre la comunidad y las autoridades municipales. Al informar a la comunidad de la realidad de la situación de su sistema de abastecimiento, los hacemos partícipes en el proceso de mejora y les ofrecemos la oportunidad de ser parte del cambio.
- Se sugiere mejorar el sistema de tratamiento de Runahurco, iniciando por la desinfección, puesto que incumple con la cantidad de cloro residual que llega a los domicilios de los consumidores, se malgasta cloro en el caudal de rebose y no hay un tiempo de retención adecuado, teniendo como resultado una desinfección deficiente. Sin embargo, los tratamientos físicos como aireación, cribado y sedimentación son importantes para garantizar una excelente calidad en el producto final, el agua.
- Además, se recomienda que el GAD correspondiente realice una inversión en una herramienta que permita un control estricto en la cantidad de cloro libre residual presente tanto en los diferentes procesos de purificación como en el último hogar que recibe el líquido vital. Para dicho labor, lo ideal es un medidor de cloro portátil.

## 5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, G. (2015). Caracterización físico-química y microbiológica del agua del río Soacha, Cundinamarca, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 6(2), 119–144.
- BBC News. (2011, June 3). *E. coli: vieja asesina en América Latina*.  
[https://www.bbc.com/mundo/noticias/2011/06/110603\\_ecoli\\_america\\_latina\\_men](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2011/06/110603_ecoli_america_latina_men)
- Bolaños-Alfaro, J. D., Cordero-Castro, G., & Segura-Araya, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Revista Tecnología En Marcha*, 30(4), 15. <https://doi.org/10.18845/tm.v30i4.3408>
- Caminati, A., & Caqui, R. (2013). *ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y SU DISTRIBUCIÓN EN LA UNIVERSIDAD DE PIURA* [Tesis de pregrado en Ingeniería Industrial y de Sistemas. ]. Universidad de Piura.
- Castillo, J., Espinoza, C., Núñez, C., & Zamorano, G. (2004). MODELO DE SIMULACION PARA LA CALIDAD DE AGUA EN UN RIO. *CI51D Contaminación de Recursos Hídricos, Semestre Primavera*.
- Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas (ONU-DADES), & ONU-Agua (UNW-DPAC). (2014, October 22). *Decenio Internacional para la Acción: El agua fuente de vida 2005-2015*.  
<https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>
- el PROFE DH - QUÍMICA. (2021). *ALCALINIDAD Y ACIDEZ: CONCEPTOS, ESPECIES QUÍMICAS INVOLUCRADAS Y DETERMINACIÓN*. YouTube.  
[https://www.youtube.com/watch?v=jrbGVShdWFY&t=1927s&ab\\_channel=ELPROFEDH-QU%C3%8DMICA](https://www.youtube.com/watch?v=jrbGVShdWFY&t=1927s&ab_channel=ELPROFEDH-QU%C3%8DMICA)
- EMPRESA METROPOLITANA DE ALCANTARILLADO Y AGUA POTABLE. (2008). *NORMAS DE DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE PARA LA EMAAP-Q* (M. Punguil, Ed.; Primera). V&M Gráficas.
- Flores, V., & Guillén, K. (2021). *Propuesta de tratamiento del agua de consumo y Manual de operación y mantenimiento del sistema de abastecimiento de la comunidad de Nitiluisa*. [Obtención del Título de Tecnóloga en Agua y Saneamiento Ambiental, Escuela Politécnica Nacional del Ecuador].  
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21488>
- García-González, J., Osorio-Ortega, M. A., Saquicela-Rojas, R. A., & Cadme, M. L. (2021). Determinación del índice de calidad del agua en ríos de Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador. *Ingeniería Del Agua*, 25(2), 115.  
<https://doi.org/10.4995/ia.2021.13921>
- Hach Company. (n.d.). *Manual de análisis de agua de Hach*. Loveland, Colorado 80539-0389. Retrieved July 9, 2022, from <https://www.hach.com/dr1900-portable-spectrophotometer/product-parameter-reagent?id=18915675456>

- INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. (1992). *CÓDIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN. C.E.C. NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES* (Primera). INEN.  
[https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/cpe\\_inen\\_5%20Parte\\_9-1.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/cpe_inen_5%20Parte_9-1.pdf)
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). *Norma Técnica Ecuatoriana: AGUA POTABLE. REQUISITOS*. <http://www.pudeleco.com/files/a16057d.pdf>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). *AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS NTE INEN 2169:2013*.  
<https://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-2169-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-MANEJO-Y-CONSERVACI%C3%93N-DE-MUESTRAS.pdf?x42051>
- Instituto Nacional de Normalización. (2008, June 27). *Proyecto de norma en consulta pública*.  
[http://www.siss.gob.cl/586/articles-6083\\_recurso\\_1.pdf](http://www.siss.gob.cl/586/articles-6083_recurso_1.pdf)
- Japanese Industrial Standard (JIS). (2012). *Testing methods for industrial water*. JSA.
- Martínez, E. (2021). *Determinación de Cloruros en Agua. Método de Mohr*. YouTube.  
[https://www.youtube.com/watch?v=C-PBIYVVXqc&t=485s&ab\\_channel=EmersonMart%C3%ADnez](https://www.youtube.com/watch?v=C-PBIYVVXqc&t=485s&ab_channel=EmersonMart%C3%ADnez)
- Metcalf & Eddy. (2007). *Ingeniería de las aguas residuales* (5ta ed.). Mc.Graw Hill.
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua, Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico, & Estado Plurinacional de Bolivia. (2011). *Guía Técnica de Diseño y Ejecución de Proyectos de Agua y Saneamiento con Tecnologías Alternativas*. Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico. <https://www.bivica.org/file/view/id/1025>
- Ministerio de Vivienda, C. y S. (2021). *LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DESINFECCIÓN DEL AGUA MEDICIÓN DE CLORO RESIDUAL* (Actividad 5).
- Ministerio de Viviendas, C. y S. (2021). *Tecnologías para la desinfección del agua 1*. GORELL.  
[https://www.youtube.com/watch?v=t51OvaoHkFA&ab\\_channel=GORELL](https://www.youtube.com/watch?v=t51OvaoHkFA&ab_channel=GORELL)
- Ministerio del Ambiente. (2015). *NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA*. In *TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DE MEDIO AMBIENTE* (Especial N° 387).
- Molina, L. (2015). *ANÁLISIS DE CALIDAD DEL AGUA EN EL SECTOR URBANO DEL MALECON DE MANTA, PROVINCIA DE MANABI*. [UNIVERSIDAD DE ESPECIALIDADES ESPÍRITU SANTO].  
<http://repositorio.uees.edu.ec/bitstream/123456789/2178/1/FINAL%20.pdf>
- Ñuñoa, S. (n.d.). Caldo Bilis Verde Brillante al 2%. *INSUMOLAB*. Retrieved August 3, 2022, from  
[https://www.insumolab.cl/descargas/educacion/tubos/16x160/ficha\\_tecnica/03.pdf](https://www.insumolab.cl/descargas/educacion/tubos/16x160/ficha_tecnica/03.pdf)
- Organización Panameña de la Salud, & Organización Mundial de la Salud. (n.d.). *Glosario*. Retrieved June 11, 2022, from  
[https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com\\_content&view=article&id=10556:2](https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=10556:2)

015-

glosario&Itemid=42210&lang=es#:~:text=Contaminaci%C3%B3n%20cruzada%3A%20transporte%20de%20sustancias, listo%20para%20el%20consumo%2C%20contamin%C3%A1ndolo.

Organización Panamericana de la Salud. (2005). GUÍA PARA EL DISEÑO DE DESARENADORES Y SEDIMENTADORES. In *UNATSABAR*.  
[https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/OPS%202005b.%20Gu%C3%ADa%20desarenadores%20y%20sedimentadores.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%202005b.%20Gu%C3%ADa%20desarenadores%20y%20sedimentadores.pdf)

Pérez, J. (2010). *CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE Y EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE LA CIUDAD DE YOPAL* [Universidad Industrial de Santander].  
<http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2010/133761.pdf>

Robles, J. (2021). *Evaluación del efecto del caudal de agua en la tasa de transferencia de oxígeno de aereadores Venturi* [Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental, Universidad Continental].  
[https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/11132/1/IV\\_FIN\\_107\\_TE\\_Robles\\_Rete\\_2021.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/11132/1/IV_FIN_107_TE_Robles_Rete_2021.pdf)

Romero, J. (1999). *Potabilización del Agua* (ALFAOMEGA, Ed.; 3a.). Escuela Colombiana de Ingeniería.

Romero, R. (2015). *DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES*.  
[https://www.academia.edu/14491146/DISE%C3%91O\\_DE\\_UNA\\_PLANTA\\_DE\\_TRATAMIENTO\\_DE\\_AGUAS\\_RESIDUALES\\_2015](https://www.academia.edu/14491146/DISE%C3%91O_DE_UNA_PLANTA_DE_TRATAMIENTO_DE_AGUAS_RESIDUALES_2015)

Romero, V., Norris, F., Ríos, J., Cortés, I., González, A., Gaete, L., & Tchernitchin, A. (2017). Consecuencias de la fluoración del agua potable en la salud humana. *Rev Med Chile*, 145, 240–249. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rmc/v145n2/art12.pdf>

Samboni, N., Carvajal, Y., & Escobar, J. (2007, September). *Revisión de parámetros físicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua*.  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-56092007000300019](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092007000300019)

Secretaría de las Naciones Unidas, Organización Mundial de la Salud, & Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos. (2011). *United Nations Human Rights*.  
<https://www.ohchr.org/sites/default/files/Documents/Publications/FactSheet35sp.pdf>

Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET). (2016). *ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA GENERAL "ICA"*. In *Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales*.  
<http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/Documentos/calculoICA.pdf>

Technal. (2014). DQO vs DBO. *Blog*. [https://tecnal.com.br/es/blog/215\\_dqo\\_vs\\_dbo](https://tecnal.com.br/es/blog/215_dqo_vs_dbo)

Torres, P., Hernán, C., & Patiño, P. (2009). *ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA EN FUENTES SUPERFICIALES UTILIZADAS EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO. UNA REVISIÓN CRÍTICA*. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 79–94.



Universidad Politécnica de Madrid. (2013). *Determinación del contenido de cloruros de agua: Método de Mohr*. ICE DE UPM.

[https://www.youtube.com/watch?v=laT7Q4N3uQY&ab\\_channel=UPM](https://www.youtube.com/watch?v=laT7Q4N3uQY&ab_channel=UPM)

Universitat Politècnica de València - UPV. (2021). *Determinación de la alcalinidad del agua: método potenciométrico*. YouTube.

[https://www.youtube.com/watch?v=qcRetuf6O8Y&t=497s&ab\\_channel=UniversitatPolitecnicaValencia-UPV](https://www.youtube.com/watch?v=qcRetuf6O8Y&t=497s&ab_channel=UniversitatPolitecnicaValencia-UPV)

von Sperling, M. (2014). *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos* (Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental & Universidade Federal de Minas Gerais, Eds.; 2nd ed., Vol. 1).

## 6 ANEXOS

### 6.1 ANEXO I. TURNITIN

Entrega final Karen Zaruma

#### ORIGINALITY REPORT

<b>9</b> %	<b>9</b> %	<b>3</b> %	<b>2</b> %
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

#### PRIMARY SOURCES

<b>1</b>	<a href="http://www.dspace.uce.edu.ec">www.dspace.uce.edu.ec</a> Internet Source	<b>1</b> %
<b>2</b>	<a href="http://bibdigital.epn.edu.ec">bibdigital.epn.edu.ec</a> Internet Source	<b>1</b> %
<b>3</b>	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Internet Source	<b>1</b> %
<b>4</b>	<a href="http://docplayer.es">docplayer.es</a> Internet Source	< <b>1</b> %
<b>5</b>	<a href="http://idoc.pub">idoc.pub</a> Internet Source	< <b>1</b> %
<b>6</b>	<a href="http://dspace.ucuenca.edu.ec">dspace.ucuenca.edu.ec</a> Internet Source	< <b>1</b> %
<b>7</b>	<a href="http://ridum.umanizales.edu.co">ridum.umanizales.edu.co</a> Internet Source	< <b>1</b> %
<b>8</b>	<a href="http://repositorio.utc.edu.ec">repositorio.utc.edu.ec</a> Internet Source	< <b>1</b> %
<b>9</b>	<a href="http://repositorio.ug.edu.ec">repositorio.ug.edu.ec</a> Internet Source	< <b>1</b> %

10	<a href="http://www.ecorfan.org">www.ecorfan.org</a> Internet Source	<1 %
11	<a href="http://repositorio.espe.edu.ec">repositorio.espe.edu.ec</a> Internet Source	<1 %
12	Submitted to Escuela Politecnica Nacional Student Paper	<1 %
13	<a href="http://polipapers.upv.es">polipapers.upv.es</a> Internet Source	<1 %
14	<a href="http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr">repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr</a> Internet Source	<1 %
15	<a href="http://doku.pub">doku.pub</a> Internet Source	<1 %
16	<a href="http://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Internet Source	<1 %
17	<a href="http://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Internet Source	<1 %
18	<a href="http://ewdata.rightsindevelopment.org">ewdata.rightsindevelopment.org</a> Internet Source	<1 %
19	<a href="http://zh.scribd.com">zh.scribd.com</a> Internet Source	<1 %
20	<a href="http://patents.google.com">patents.google.com</a> Internet Source	<1 %
21	<a href="http://issuu.com">issuu.com</a> Internet Source	<1 %

22	<a href="http://spectrum.library.concordia.ca">spectrum.library.concordia.ca</a> Internet Source	<1 %
23	<a href="http://tesis.ipn.mx">tesis.ipn.mx</a> Internet Source	<1 %
24	<a href="http://riunet.upv.es">riunet.upv.es</a> Internet Source	<1 %
25	<a href="http://www.dominiodelasciencias.com">www.dominiodelasciencias.com</a> Internet Source	<1 %
26	<a href="http://core.ac.uk">core.ac.uk</a> Internet Source	<1 %
27	<a href="http://es.scribd.com">es.scribd.com</a> Internet Source	<1 %
28	<a href="http://portal.amelica.org">portal.amelica.org</a> Internet Source	<1 %
29	Submitted to Universidad San Francisco de Quito Student Paper	<1 %
30	<a href="http://studylib.es">studylib.es</a> Internet Source	<1 %
31	Submitted to Universidad Nacional de Colombia Student Paper	<1 %
32	<a href="http://notesdeseguretat.blog.gencat.cat">notesdeseguretat.blog.gencat.cat</a> Internet Source	<1 %

33	<a href="https://repositorio.usfq.edu.ec">repositorio.usfq.edu.ec</a> Internet Source	<1 %
34	<a href="http://www.buenastareas.com">www.buenastareas.com</a> Internet Source	<1 %
35	<a href="http://www.cornare.gov.co">www.cornare.gov.co</a> Internet Source	<1 %
36	<a href="http://www.slideshare.net">www.slideshare.net</a> Internet Source	<1 %
37	<a href="http://periodico.morelos.gob.mx">periodico.morelos.gob.mx</a> Internet Source	<1 %
38	<a href="http://perso.univ-lyon2.fr">perso.univ-lyon2.fr</a> Internet Source	<1 %
39	<a href="https://repositorio.unasam.edu.pe">repositorio.unasam.edu.pe</a> Internet Source	<1 %
40	<a href="http://www.clubensayos.com">www.clubensayos.com</a> Internet Source	<1 %
41	Jhonny Marcelo Orozco-Ramos, Juan Carlos Cayán-Martínez, Eduardo Francisco García-Cabezas, Gabriel Pilataxi-Contreras. "Implementación de un sistema de recolección y cloración para la potabilización automatizada", Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía, 2020 Publication	<1 %
42	Submitted to Universidad Cesar Vallejo	

	Student Paper	<1 %
43	<a href="http://anes.org.mx">anes.org.mx</a> Internet Source	<1 %
44	<a href="http://as.com">as.com</a> Internet Source	<1 %
45	<a href="http://doczz.es">doczz.es</a> Internet Source	<1 %
46	<a href="http://mafiadoc.com">mafiadoc.com</a> Internet Source	<1 %
47	<a href="http://repositorio.ifpb.edu.br">repositorio.ifpb.edu.br</a> Internet Source	<1 %
48	<a href="http://repositorio.uisek.edu.ec">repositorio.uisek.edu.ec</a> Internet Source	<1 %
49	<a href="http://repositorio.unap.edu.pe">repositorio.unap.edu.pe</a> Internet Source	<1 %
50	<a href="http://repositorio.upao.edu.pe">repositorio.upao.edu.pe</a> Internet Source	<1 %
51	<a href="http://repositorio.uti.edu.ec">repositorio.uti.edu.ec</a> Internet Source	<1 %
52	<a href="http://upcommons.upc.edu">upcommons.upc.edu</a> Internet Source	<1 %
53	<a href="http://uvadoc.uva.es">uvadoc.uva.es</a> Internet Source	<1 %

54	<a href="http://www.ataonline.org.ar">www.ataonline.org.ar</a> Internet Source	<1 %
55	<a href="http://www.scribd.com">www.scribd.com</a> Internet Source	<1 %
56	Submitted to Universidad Técnica de Machala Student Paper	<1 %
57	<a href="http://bdigital.unal.edu.co">bdigital.unal.edu.co</a> Internet Source	<1 %
58	<a href="http://cienciadigital.org">cienciadigital.org</a> Internet Source	<1 %
59	<a href="http://corponarino.gov.co">corponarino.gov.co</a> Internet Source	<1 %
60	<a href="http://dokumen.pub">dokumen.pub</a> Internet Source	<1 %
61	<a href="http://pesquisa.bvsalud.org">pesquisa.bvsalud.org</a> Internet Source	<1 %
62	<a href="http://rabida.uhu.es">rabida.uhu.es</a> Internet Source	<1 %
63	<a href="http://repositorio.unal.edu.co">repositorio.unal.edu.co</a> Internet Source	<1 %
64	<a href="http://revistadigital.uce.edu.ec">revistadigital.uce.edu.ec</a> Internet Source	<1 %
65	<a href="http://search.scielo.org">search.scielo.org</a> Internet Source	<1 %

66	<a href="http://www.1a3soluciones.com">www.1a3soluciones.com</a> Internet Source	<1 %
67	<a href="http://www.aidergc.com">www.aidergc.com</a> Internet Source	<1 %
68	<a href="http://www.belen.go.cr">www.belen.go.cr</a> Internet Source	<1 %
69	<a href="http://www.cepis.org.pe">www.cepis.org.pe</a> Internet Source	<1 %
70	<a href="http://www.eldescueve.com">www.eldescueve.com</a> Internet Source	<1 %
71	<a href="http://www.es.sophos.com">www.es.sophos.com</a> Internet Source	<1 %
72	<a href="http://www.inec.gob.ni">www.inec.gob.ni</a> Internet Source	<1 %
73	<a href="http://www.lareferencia.info">www.lareferencia.info</a> Internet Source	<1 %
74	<a href="http://www.repositorio.usac.edu.gt">www.repositorio.usac.edu.gt</a> Internet Source	<1 %
75	J. García-González, M.A. Osorio-Ortega, R.A. Saquicela-Rojas, M.L. Cadme. "Determinación del índice de calidad del agua en ríos de Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador", Ingeniería del agua, 2021 Publication	<1 %
<a href="http://doczz.net">doczz.net</a>		



76	Internet Source	<1 %
77	<a href="http://sedici.unlp.edu.ar">sedici.unlp.edu.ar</a> Internet Source	<1 %
78	Abbasi-Garravand, Elham, Catherine N. Mulligan, Claude B. Laflamme, and Guillaume Clairet. "Role of two different pretreatment methods in osmotic power (salinity gradient energy) generation", <i>Renewable Energy</i> , 2016. Publication	<1 %
79	<a href="http://portal.compraspublicas.gob.ec">portal.compraspublicas.gob.ec</a> Internet Source	<1 %
80	<a href="http://revistas.ucc.edu.co">revistas.ucc.edu.co</a> Internet Source	<1 %
81	<a href="http://www.derechoecuador.com">www.derechoecuador.com</a> Internet Source	<1 %

Exclude quotes Off

Exclude matches < 4 words

Exclude bibliography Off

## 6.2 ANEXO II. Encuestas resueltas

[Encuesta.docx](#)

## 6.3 ANEXO III. Plan de Muestreo



ESCUELA  
POLITÉCNICA  
NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

### PLAN DE MUESTREO

DETERMINACIÓN DE CALIDAD DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE  
AGUA POTABLE DE RUNAHURCO DEL PASOCHOA

#### A. DOCUMENTACIÓN BASE

El presente Plan de Muestro se elaboró en consideración a la siguiente documentación:

- TULSMA. Agua potable, requisitos
- NTE INEN-2169. Calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras (2013)

#### B. PARÁMETROS POR ANALIZAR

A continuación, se presenta los parámetros que se analizarán.

**Tabla 1.** Parámetro de medición *in situ* para fuentes de abastecimiento

Parámetro	Unidad
Potencial Hidrógeno	pH
Temperatura	°C
Conductividad	μS/cm
Turbidez	NTU
Oxígeno Disuelto	Mg/L

**Tabla 2.** Parámetro de medición *in situ* para tanques de cloración

Parámetro	Unidad
Cloro Total	mg/L
Cloro Libre	mg/L

**Tabla 3.** Parámetro análisis en laboratorio para fuentes de abastecimiento

Parámetro	Unidad
Alcalinidad	mg/L
Acidez	mg/L
Color Real	UNT
Coliformes Fecales	NMP/100 mL
Coliformes Totales	NMP/100 mL
Cloruros	mg/L
DQO	mg/L
DBO	mg/L
Hierro Total	mg/L
Manganeso	mg/L
Fluoruros	mg/L

Fosfatos	mg/L
Nitrato	mg/L
Nitrito	mg/L
Nitrógeno Amoniacal	mg/L
Sulfatos	mg/L
Valoración de sólidos	mg/L

### C. PUNTOS DE MUESTREO

Se debe realizar una visita técnica para poder identificar los diferentes componentes del sistema y tener una idea clara de cuáles son los componentes más relevantes. Para ello, se toma en cuenta criterios para considerar qué puntos serán los más apropiados:

- Identificación. Los puntos que se escojan deben ser fáciles de reconocer, es decir, que debe ser un punto referencial en el sistema como tanques de cloración, desarenadores, etc.
- Accesibilidad. Su acceso no deberá suponer ningún riesgo a la persona encargada de referenciar el punto, esta deberá contar con el equipo de protección necesario en caso de que precise tomar como punto de muestreo un lugar con complicaciones de acceso. Además de, hay que asegurar que su paso sea continuo, para poder georreferenciarlos

### D. GEORREFERENCIACIÓN DE PUNTOS

Los puntos de muestreo mínimos para fuentes cuyo propósito es que se destine a consumo humano son:

- En todas las fuentes que abastecen al sistema
- Después de cada tanque de cloración
- En la última casa que forma parte del sistema de abastecimiento

Cada punto de muestreo que se evalúe como “indicado” deberá ser georreferenciado y se le otorgará un código para hacer su reconocimiento más sencillo.

En el presente plan se ha determinado un total de seis (6) puntos de muestreo que se presentarán a continuación con el código correspondiente.

**Tabla 4.** Puntos de muestreo

Código	Nombre	Descripción
C1	Captación 1	Captación del Río San Pedro de Pasochoa

C2	Captación 2	Unión de La Cascada Padre Urco y ojo de agua
T1	Tanque de cloración 1	Tanque de cloración situados después del desarenador
T2	Tanque de cloración 2	Tanque que une las dos captaciones
T3	Tanque de cloración 3	Tanque final para distribución
F	Casa final	Última casa en recibir el servicio de agua potable del sistema

## E. METODOLOGÍA DEL MUESTREO

Acorde a lo descrito en la NTE INEN 2169, en su primera revisión del 2013, los frascos utilizados deberán ser preferiblemente de vidrio ámbar, para asegurar que no exista contaminación cruzada por una incorrecta limpieza o en su defecto, usar recipientes desechables.

Los frascos que contengan las muestras deberán ser enjuagados con el agua del cauce para posteriormente llenarlos, estos se deberán sumergir por completo y tapar dentro de la fuente para evitar exceso de aire en el frasco (INEN 2169, 2013). Una vez que se haya hecho la recolección de las muestras, estas deberán mantenerse en refrigeración, específicamente en un *cooler* con hielos en su interior.

Las muestras que se usarán para análisis de parámetros físicos y químicos en su mayoría no requieren de conservantes, caso contrario para los análisis biológicos, que se utilizará un elemento conservante acorde con el método que se realice (INEN 2169, 2013).

El rotulado de cada muestra debe ser claro, se registrará datos como el nombre de quién realizó el muestreo, anomalías, agente conservante y su cantidad, fecha, etc. se anotará información relevante para al final de los análisis y así, brindar una interpretación lo más precisa posible (INEN 2169, 2013).

- Se tomará tres muestras de cada una de las captaciones, en total seis (6) frascos, cada una de un litro.
- Dos frascos se destinarán para el análisis de DQO, se utilizará como agente conservante ácido sulfúrico y se colocará un par de gotas en cada frasco una vez que contengan la muestra.
- Adicional, se tomará en dos frascos estériles de 100 ml por cada captación, cuatro en total. Estos serán para los parámetros microbiológicos.

## 6.4 ANEXO IV. Registro fotográfico

**Tabla 1.** Registro fotográfico sección metodológica

<b>Análisis <i>in situ</i></b>	
<b>Actividad</b>	<b>IMAGEN</b>
Preparación de instrumentos	
Recolección muestras	
Realización de análisis in situ	
<b>Análisis en laboratorio</b>	
<b>IMAGEN</b>	
	

## 6.5 ANEXO V. Análisis de calidad de agua en el Tanque de Runahurco

CONTROL MENSUAL - TANQUES				Limite Permissible		5	6,5 - 8,0	0,3 a 1,5	(2) AUSENCIA	15	1,5	50	AUSENCIA	AUSENCIA
FECHA MUESTREO	REFERENCIA	COORDENADAS UTM WGS84		TURBIDEZ	POTENCIAL HIDRÓGENO	CLORO LIBRE	COLIFORMES FECALES	COLOR APARENTE	FLUORUROS	NITRATOS	CRYPTOSPORIDIUM	GIARDIA LAMBLIA		
		EST	SUF	NTU	U pH	mg/l	NMP/100l	Pt-Co	mg/l	mg/l	Número de quistes	Número de quistes		
30/03/2021	Tanque de Runahurco	785327	9954012	<4,0	6,97	0,97	<1,1	<5,51	0,11	2,64	0	0		
27/04/2021	Tanque Runahurco	785326	9954028	<4,0	7,40	0,81	<1,1	<5,51	<0,10	3,44	0	0		
18/05/2021	Tanque de Runahurco	785327	9954012	<4,0	6,75	0,93	<1,1	<5,51	<0,10	2,43	0	0		
25/06/2021	Tanque de Runahurco	785327	9954012	<4,0	6,57	1,04	<1,1	<5,51	0,32	1,68	0	0		
30/07/2021	Tanque de Runahurco	785327	9954012	<4,0	6,50	1,32	<1,1	<5,51	<0,10	1,74	0	0		
24/08/2021	Tanque de Runahurco	785327	9954012	<4,0	6,31	0,81	<1,1	<5,51	0,15	2,35	0	0		
25/06/2021	Tanque de Runahurco	785327	9954012	<4,0	6,57	1,04	<1,1	<5,51	0,32	1,68	0	0		
24/08/2021	Tanque de Runahurco	785327	9954012	<4,0	6,31	0,81	<1,1	<5,51	0,15	2,35	0	0		
24/09/2021	Tanque Runahurco	785327	9954012	<4,0	6,57	0,53	<1,1	<5,51	0,21	2,01	0	0		
26/10/2021	Tanque Runahurco	785327	9954012	<4,0	6,67	0,91	<1,1	<5,51	<0,10	1,91	0	0		
23/11/2021	Tanque Runahurco	785327	9954012	<4,0	6,90	1,05	<1,1	<5,51	<0,10	3,11	0	0		
30/11/2021	Tanque Runahurco	785327	9954012	<4,0	6,52	1,09	<1,1	<5,51	<0,10	2,14	0	0		

CONTROL MENSUAL - TANQUES					Límites Permisibles		5	6,5 - 8,0	0,3 a 1,5	(2) AUSENCIA	15	1,5	50	AUSENCIA	AUSENCIA
CÓDIGO MUESTREO	FECHA MUESTREO	PROTOCOLO	CADENA No.	REFERENCIA	COORDENADAS UTM WGS84 (17M)		TURBIDEZ	POTENCIAL	CLORO LIBRE	COLIFORMES	COLOR APARENTE	FLUORUROS	NITRATOS	CRYPTOSPORIDIUM	GIARDIA LAMBLIA
					ESTE	SUR	NTU	U pH	mg/l	NMP/100	Pt-Co	mg/l	mg/l	Número de quistes	Número de quistes
A10	01/04/2022	77173/2022-1	0020205	Tanque Runahurco	785314	9954025	<4,0	6,41	0,73	<1,1	<5,51	<0,10	1,41	0	0
A17	26/04/2022	24734/2022-1	0021045	Tanque Runahurco	785314	9954025	<4,0	7,83	1,50	<1,1	<5,51	<0,10	2,83	0	0

## 6.6 ANEXO VI. Presupuesto para la implementación de mejoras en el sistema

REJAS				
Rubro	Unidad	Precio	Cantidad	Total
REPLANTEO Y NIVELACIÓN PARA ESTRUCTURAS	m2	2.14	1	2.14
REJILLA GALVANIZADA (1X0.5) INCLUYE (ACCESORIOS, TRANSPORTE E INSTALACIÓN)	m2	81.93	1	81.93
LIMPIEZA FINAL DE LA OBRA	m2	2.33	1	2.33
				86.4

DESARENADOR				
Rubro	Unidad	Precio	Cantidad	Total
DERROCAMIENTO DE CONSTRUCCIONES EXISTENTES (INC. DESALOJO)	m2	31.5	3	94.5
REPLANTEO Y NIVELACIÓN PARA ESTRUCTURAS	m2	2.14	3	6.42
HORMIGÓN SIMPLE F'C = 280 KG/CM2 - EN SITIO	m3	203.66	1.5	305.49
ENCOFRADO/DEENCOFRADO ESTRUCTURAS	m2	21.12	2	42.24
LIMPIEZA FINAL DE LA OBRA	m2	2.33	1	2.33
				450.98

AIREADOR 1				
Rubro	Unidad	Precio	Cantidad	Total
DESBROCE Y LIMPIEZA	m2	1.58	1	1.58
REPLANTEO Y NIVELACIÓN PARA ESTRUCTURAS	m2	2.14	1	2.14
BANDEJA TOOL GALVANIZADO 20X30CM INCL. ACCESORIOS	u	122.28	6	733.68
MONTAJE DE ESTRUCTURA PREFABRICADA EN SITIO	glb	100	1	100
LIMPIEZA FINAL DE LA OBRA	m2	2.33	1	2.33
				839.73

AIREADOR 2				
Rubro	Unidad	Precio	Cantidad	Total
DESBROCE Y LIMPIEZA	m2	1.58	1	1.58
REPLANTEO Y NIVELACIÓN PARA ESTRUCTURAS	m2	2.14	1	2.14
BANDEJA TOOL GALVANIZADO 20X30CM INCL. ACCESORIOS	u	122.28	9	1100.52
MONTAJE DE ESTRUCTURA PREFABRICADA EN SITIO	glb	100	1	100
LIMPIEZA FINAL DE LA OBRA	m2	2.33	1	2.33
				1206.57

<b>DESINFECCIÓN</b>				
<b>Rubro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Total</b>
TANQUE PARA HIPOCLORADOR 500 LTS POLIETILENO INCL. ACCESORIOS (PROVISION E INSTALACION)	u	185.08	1	185.08
TANQUE 850 LTS POLIETILENO APILABLE (PROVISIÓN E INSTALACIÓN)	u	252	1	252
TANQUE 600 LTS POLIETILENO APILABLE (PROVISION E INSTALACION)	u	196.66	1	196.66
TANQUE 40 LTS POLIETILENO APILABLE (PROVISION E INSTALACION)	u	15	3	45
ACCESORIO TANQUE HIPOCLORADOR (PROVISION E INSTALACION)	glb	37.68	2	75.36
HIPOCLORITO DE CALCIO AL 70% - GRANULADO (CANECA 45kg) PROVISION	u	150.66	3	451.98
LIMPIEZA FINAL DE LA OBRA	m2	2.33	3	6.99
				<b>1213.07</b>

**VALOR TOTAL DE LA PROPUESTA 3796.75**

## **6.7 ANEXO VII. Memoria Técnica**



Memoria Técnica

# Propuesta de mejora para el sistema de abastecimiento de Runahurco

Septiembre 2022



Karen Zaruma

Escuela Politécnica Nacional  
Agua y Saneamiento Ambiental

## INFORMACIÓN INICIAL

La vida se relaciona directamente con el agua, puesto que este recurso asegura la supervivencia del planeta entero. Es así como, la calidad del agua que consumimos es sobresaliente al determinar los medios de propagación de enfermedades relacionadas al saneamiento y salud (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011)



La captación principal se realiza en el Río San Pedro de Pasochoa. Por otra parte, se encuentra la cascada Padre Urco, cuya vertiente se mezcla con un ojo de agua en un tanque de unión de vertientes, que da origen a la captación dos.



El sistema de abastecimiento de Runahurco se encuentra en Pasochoa, norte de Amaguaña. Inicia en la captación del Río San Pedro de Pasochoa y continúa su línea de conducción presurizada con una extensión de 6.9 km.



El sistema abastece a 71 familias actualmente de manera aproximada, en un promedio de 4.5 usuarios por hogar. Es decir, una población actual de 320 habitantes.



Ocho de las nueve personas ocupan el agua para alimentación e higiene, ideal para el tipo de agua que se provee. De dichos usuarios el 67% conocen de dónde proviene el agua para su comunidad, pero solo cuatro de ellos conocen el tratamiento de este recurso y solo uno de ellos ha recibido información del servicio de agua y la calidad de este en los últimos meses.

# PUNTOS DE MUESTREO

Los puntos de muestreo seleccionados para realizar los análisis fueron en total seis (6), que se presentarán a continuación con el código correspondiente.

- Punto C1.** Captación del Río San Pedro de Pasochoa
- Punto C2.** Unión de La Cascada Padre Urco y ojo de agua
- Punto T1.** Tanque de cloración situados después del desarenador
- Punto T3.** Tanque final para distribución
- Punto T2.** Tanque que une las dos captaciones
- Punto F.** Última casa en recibir el servicio de agua potable del sistema

Para ilustrar las coordenadas presentados, se presenta a continuación la colocación de las coordenadas georreferenciadas de cada uno de los puntos de muestreo en Google Earth. De esta manera, obtener una visión clara de la amplitud y ubicación del sistema de abastecimiento de agua potable de Runahurco.



# CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua se evalúa en relación con las características físicas, químicas y biológicas presentes en cada una de agua, garantizando que su aplicación sea segura para la actividad destinada. El agua que se provee a la comunidad estudiada, Runahurco, se evaluó mediante análisis tanto en laboratorio como *in situ*, en dos etapas: la primera corresponde a las cualidades que posee el agua cruda y la segunda, un análisis posterior al tratamiento de esta.

Posteriormente se compararon los resultados obtenidos en relación con lo indicado en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), Anexo 1 del libro VI para agua cruda y la Normativa Técnica Ecuatoriana INEN 1108:2020 para el agua destinada al consumidor.

## Evaluación de la calidad de las fuentes de captación

Comparación parámetros *in situ* con la normativa TULSMA

Parámetro	Unidad	C1	C2	Normativa TULSMA
Conductividad**	milimhos/cm	0.172	0.031	0.7
Temperatura	°C	12.2	14.9	<30
Oxígeno Disuelto*	% de saturación	69.55	55.09	> 80
Potencial hidrógeno	pH	6.71	6.11	6 – 9
Turbiedad	UNT	0	1.3	100

\*Se ha tomado el valor que la Tabla 2 de TULSMA puesto que no se ha considerado este parámetro en la Tabla 1.  
\*\*Se ha tomado el valor que la Tabla 4 de TULSMA puesto que no se ha considerado este parámetro en la Tabla 1.

Podemos observar que los parámetros se encuentran en rangos aceptables para la normativa de agua cruda. Sin embargo, resalta que **las dos captaciones tienen unas cifras inferiores al 80% de oxígeno disuelto**. El oxígeno disuelto es un parámetro indicador de calidad de agua que puede mejorar con un adecuado sistema de movimiento.

Las captaciones no presentan contaminación patógena por Coliformes Fecales.



Comparación parámetros biológicos cuyo análisis se hizo en laboratorio con la normativa TULSMA

Parámetro	Unidad	C1	C2	Normativa TULSMA
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	0	0	1000

En el análisis realizado también se comprobó la ausencia de Coliformes Totales que, aunque no se encuentre normado, es un indicador relevante en la determinación de posibles enfermedades en los usuarios. Además, en los análisis presentados por el GAD parroquial afirman la ausencia de quistes de *Cryptosporidium* y *Giardia Lamblia*. Se determina que el agua es segura para consumo, pero es indiscutible la necesidad de un proceso de desinfección puesto que es obligatorio.

**Comparación parámetros cuyo análisis se hizo en laboratorio con la normativa TULSMA**

Parámetro	Unidad	C1	C2	Normativa TULSMA
Acidez	mg/l	5	9.5	-
Alcalinidad	mg/l	12.5	19.5	-
Color verdadero	Pt – Co	11	13	75
Cloruros	mg/l	19.5	23.04	-
Demanda biológica de oxígeno (DBO)	mg/l	0	0	<2
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/l	0	0	<4
Fluoruros	mg/l	0	0.27	1.5
Hierro Total	mg/l	0.02	0.05	1.0
Nitratos	mg/l	0.6	1.1	50
Nitritos	mg/l	0.005	0.004	0.2
Nitrógeno amoniacal*	mg/l NH <sub>3</sub>	0.02	0.01	22
Manganeso*	mg/l	0.033	0.030	0.1
Sulfatos	mg/l	0	1	500

\*Se ha tomado el valor que la Tabla 3 de NTE INEN 1108 puesto que no se ha considerado este parámetro en la Tabla 1.

El caso de la acidez y alcalinidad no han sido consideradas en ninguna tabla del TULSMA. Sin embargo, se ha considerado en la evaluación para evitar rangos extremos en la valoración de pH que puede desencadenar en una serie de reacciones químicas indeseables.

Por otra parte, se encuentran los cloruros que, su análisis es necesario para conocer si es probable sufrir afectaciones en las conducciones del sistema.



Todos los parámetros analizados tienen valores aceptables en comparación a la normativa, que se consideran despreciables por su poca concentración en las muestras. Nos permiten reconocer que el agua cruda es satisfactoria para su aplicación en operaciones que destinen este recurso a consumo humano.

**Valoración de sólidos en captaciones**

Las dos captaciones tienen SDT en un valor aceptable (valor máximo permisible de 450 mg/L) para la normativa.

Parámetro	Unidad	C1	C2
Sólidos Totales	mg/l	76	136
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	4	4
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	72	132
Sólidos Disueltos Volátiles	mg/l	16	24
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	4	4

Se puede observar que, en ambas muestras, existe mayormente una presencia de sólidos disueltos volátiles que materia suspendida volátil, que se vería beneficiado con la aireación por la volatilización que produce el incremento de oxígeno disuelto. Por otra parte, los sólidos disueltos se componen principalmente de material inorgánico mientras que los sólidos suspendidos son en su totalidad materia orgánica.

En los sólidos disueltos, al ser principalmente inorgánicos, se debe procurar realizar un correcto sistema de sedimentación que procure el menor paso de fina arena al resto de procesos del sistema.

En época de invierno, el sistema de cribado y sedimentación del material sólido no logra cumplir con funciones eficientemente puesto que el caudal que atraviesa los elementos en esa temporada es mayor al normal.

## Evaluación de la calidad del agua post tratamiento

Tabla 13. Comparación de análisis del agua para consumo humano con la normativa

Parámetro	Unidad	C1	C2	Normativa INEN 1108:2020
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	-	-	Ausencia
Color aparente	Pt – Co	12	14	15
Fluoruros	mg/l	0	0.27	1.5
Nitratos	mg/l	0.6	1.1	50
Nitritos	mg/l	0.005	0.004	3
Potencial hidrógeno	pH	6.71	6.11	6.5 – 8
Turbiedad	UNT	0.38	1.25	5

El agua que consumen los habitantes de la comunidad de Runahurco cumple con los parámetros establecidos por la normativa. Es importante recalcar que el valor de del **pH** sigue siendo un parámetro fuera del rango permitido, este es **inferior a 6.5**, en la muestra tomada de la segunda captación.

La mezcla de las tres fuentes captadas pasa por el proceso de tratamiento y son los que abastecen a la ciudadanía. El resultado del **cloro libre total que se encontró en la última casa es de 0.02 mg/l cuando el rango es de 0.3 a 1.5 mg/l**. Dicho valor nos revela una incorrecta dosificación del desinfectante, la cantidad usada del desinfectante es baja puesto que al pasar por el sistema se desvanece por inferior del rango permitido.

Tabla 14. Análisis de cloro en el agua para consumo humano

Parámetro	Unidad	T1	T2	T3
Cloro total	mg/l	0.55	0.68	0.50
Cloro libre	mg/l	0.28	0.26	0.13

También se realizó una prueba de cloro libre residual y de cloro total en cada tanque de cloración, tres en total, tal como lo indica el plan de muestreo.

La tabla nos permite identificar que **en ninguno de los tanques hay un valor de cloro libre acorde a la normativa**. En los análisis realizados, se han encontrado una serie de irregularidades en el tratamiento de desinfección. En el primer tanque, el caudal de rebose se lleva la mayor parte del cloro utilizado para la desinfección, siendo un desperdicio del recurso y un proceso ineficiente.



En el segundo y tercer tanque, se hace uso de un tanque de almacenamiento, pero se no existe un control en la dosificación al igual que ocurre en el primer tanque.

## Evaluación del Índice de Calidad (ICA-NSF)

El índice de calidad del agua es un método bastante aplicado al valorar las características del recurso. Se realizó mediante la evaluación de parámetros representativos. El ICA-NSF es una de las variables del ICA, cuya particularidad recae en los parámetros elegidos para la evaluación y los valores otorgados a estos.



Para conocer el índice de calidad, se ha hecho uso de nueve parámetros que mediante su ponderación nos presentan la categoría a la que pertenecen las dos fuentes analizadas. De esta manera, se conocerá la clasificación a la que pertenece cada vertiente, fruto de los análisis fisicoquímicos realizados, de la forma más objetiva posible.

Evaluación ICA-NSF de la captación 1

Parámetro	Medición	Unidad	Peso relativo (Wi)	Subíndice C1	Valor
Oxígeno Disuelto	69.55	% saturación	0.17	72	12.24
Coliformes Fecales	0	NMP/100 mL	0.15	100	15
Potencial Hidrógeno	6.71	pH	0.12	75	9
DBO	0	mg/L	0.1	100	10
Temperatura	12.2	°C	0.1	18	1.9
Fosfatos	0.12	mg/L	0.1	99	9.9
Nitratos	0.6	mg/L	0.1	99	9.9
Turbidez	0.38	mg/L	0.08	99	7.92
Sólidos Disueltos Totales	72	mg/L	0.08	86	6.88
Valor del ICA-NSF					82.74

Según la clasificación propuesta por Brown, el agua de la captación número uno, es de **buena calidad**, que corresponde al rango de 71 a 90. Como se puede observar en la tabla, parámetros como oxígeno disuelto que tiene el mayor peso es uno de los parámetros que generan un descenso en la calidad del agua. La temperatura también juega un papel relevante, tanto para el potencial hidrógeno como para el oxígeno disuelto.

Al guiarnos de la misma tabla de clasificación propuesta por Brown, con un 74.62 de valor de ICA, el agua de la segunda captación se considera de **buena calidad**. Al igual que el agua de la primera captación, existe inconvenientes en el oxígeno disuelto, potencial hidrógeno y temperatura. Sin embargo, en este caso son más evidentes las complicaciones producidas por estos parámetros debido a que representan valores más bajos que en el caso de la primera captación.

Evaluación ICA-NSF de la captación 2

Parámetro	Medición	Unidad	Peso relativo (Wi)	Subíndice C1	Valor
Oxígeno Disuelto	55.09	% saturación	0.17	50	8.5
Coliformes Fecales	0	NMP/100 mL	0.15	100	15
Potencial Hidrógeno	6.11	pH	0.12	58	6.96
DBO	0	mg/L	0.1	100	10
Temperatura	14.9	°C	0.1	10	1
Fosfatos	0.84	mg/L	0.1	94	9.4
Nitratos	1.1	mg/L	0.1	96	9.6
Turbidez	1.25	mg/L	0.08	96	7.68
Sólidos Disueltos Totales	132	mg/L	0.08	81	6.48
Valor del ICA-NSF					74.62

# PROPUESTA DE MEJORA

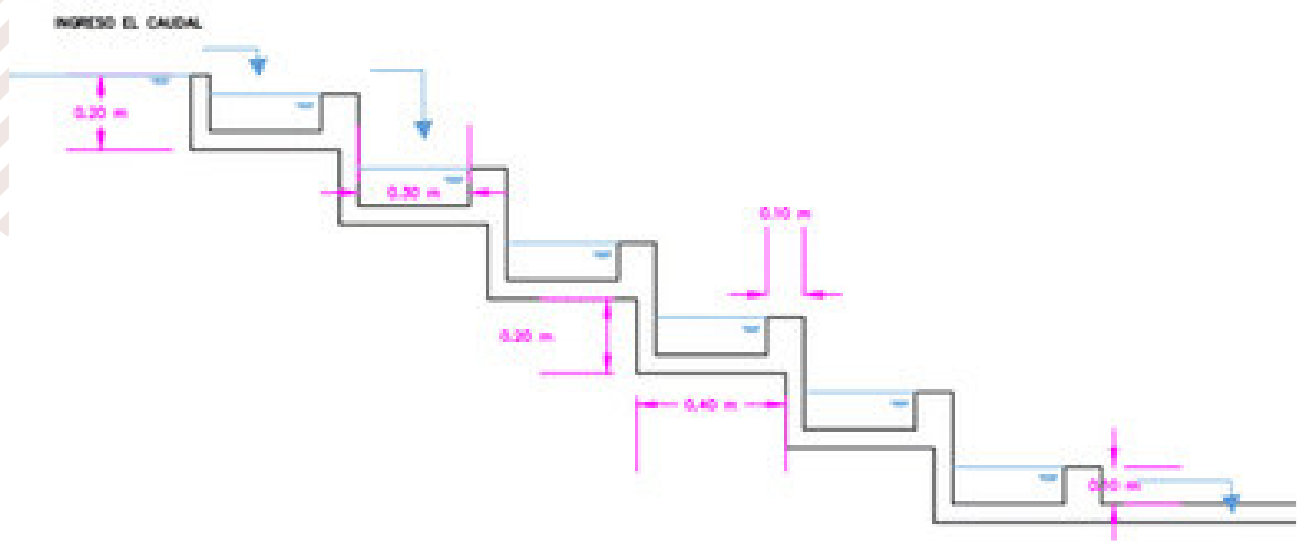
- Se realizó la evaluación de los procesos físicos que son parte del sistema. Para ello, se tomó como referencia lo expresado en el Capítulo 4: Captaciones, de la Norma de Diseño de Sistemas de Agua Potable para la EMAAP-Q del 2008.
- Según los requisitos que se encuentran normados para el agua de consumo humano, se debe asegurar el proceso de desinfección sin tomar en cuenta la calidad del agua o métodos anteriores a este.

## Aireador de cascada

Sistema de aireación que funciona por gravedad, elimina el requerimiento energético. Para conocer su eficiencia, se debe aplicar la siguiente fórmula.

El objetivo principal del aireador es la corrección del oxígeno disuelto que es inferior a lo permitido por la normativa vigente. Es así como se ha considerado que la Concentración de saturación ( $C_s$ ) de 5,75 mg/L para cumplir con la normativa en la primera captación. De esta manera, al realizar el cálculo pertinente, se determinó una altura total de 1.20 m. Sería un sistema de aireación tipo cascada de seis (6) escalones, cada uno de 20 cm de altura y un ancho de 30 cm.

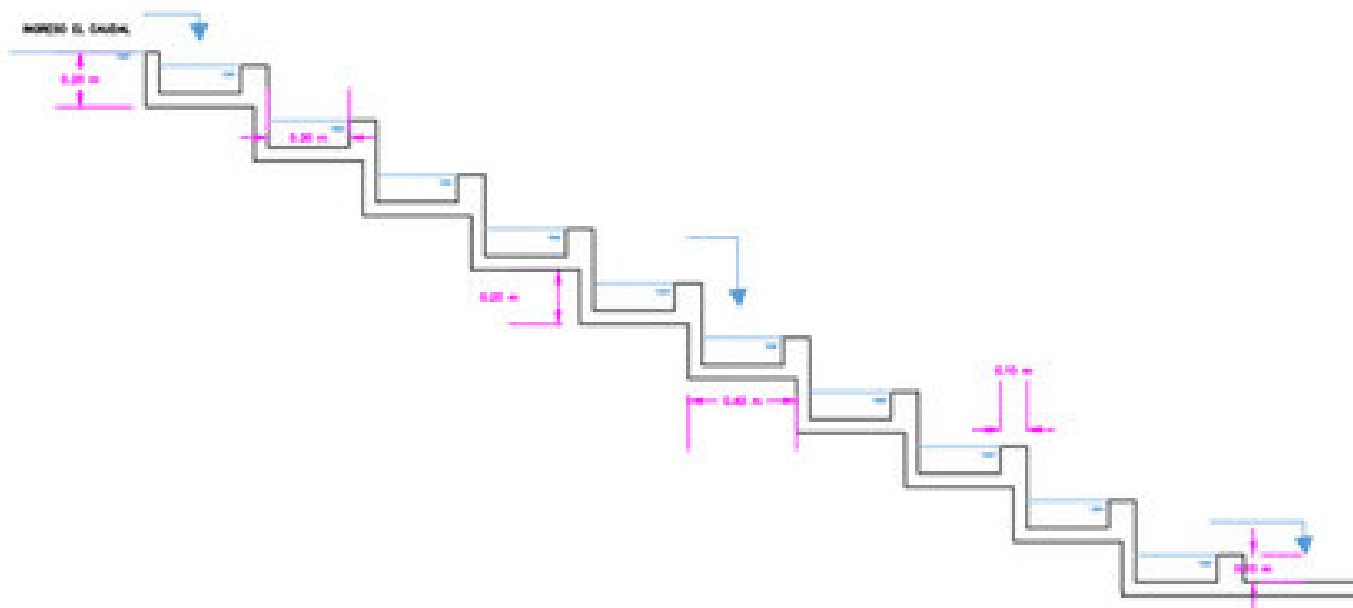
### Diseño de aireador de cascada captación 1





Para la segunda captación, el sistema de aireación propuesto se ha establecido con una  $C_s$  de 5.5 mg/L, de esta manera se logra alcanzar con la normativa. En este caso se requiere un aireador de 1.85 m. En aireador de cascada de 10 escalones de 20 cm cada uno con un ancho 30 cm. Este deberá ser colocado antes de ingresar al tanque que combina el caudal de las dos vertientes. Si se desea realizar aireación haciendo uso de otro método, existe la posibilidad de la colocación de un tubo Venturi. Sin embargo, es importante considerar que el diámetro del tubo es proporcional al caudal que se oxigenará.

### Diseño de aireador de cascada captación 2



### Cribado

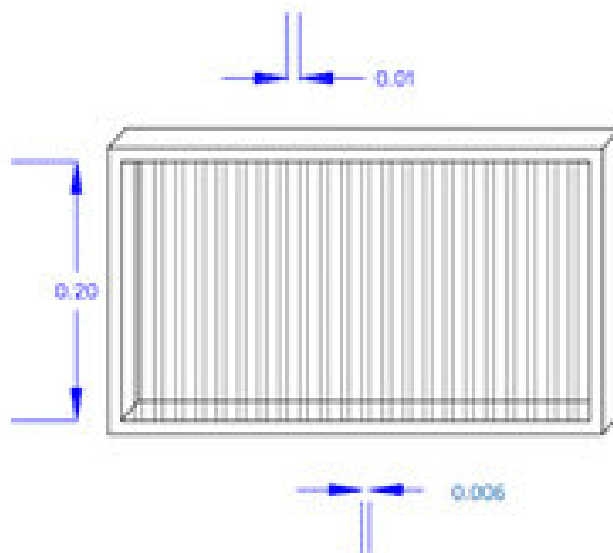
El sistema de cribado se diseñó con los criterios mencionados en el Código Ecuatoriano de la Construcción C.E.C., CPE INEN 5 Parte 9-1:1992.

Se ha diseñado un sistema de cribado de rejas rectangulares de 36 cm de ancho y 20 cm de profundidad. Para ello se ha considerado una velocidad de 0.1m/s que es la más próxima a la velocidad verdadera del canal.

El área útil del cribado sería de 0.16 m<sup>2</sup>, compuesto de 22 rejas con un espesor de 6 mm y un espaciamiento de 1 cm. Además de una pérdida de carga de 0.11cm que se considera aceptable.

El sistema garantiza el retiro de material como ramas, piedras, hojas, etc., que al ingresar al sistema genera contaminación y obstrucciones.

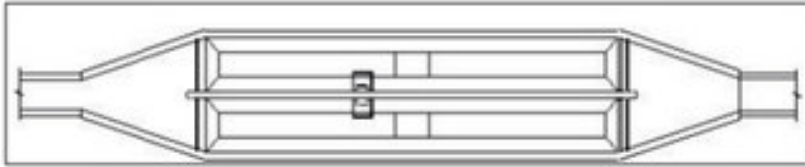
### Diseño del cribado



## Desarenador

Contribuirá a la sedimentación del material particulado que no logró ser retenido en el cribado. Los criterios que cumplir de un desarenador son la forma que este que tener, con una relación longitud ancho, profundidad y tiempo de retención.

### Desarenador de dos unidades paralelas



Fuente: (Organización Panamericana de la Salud, 2005)

Realizando el análisis del desarenador actual, este requiere un tiempo de retención de 14 minutos que no se cumple. Es por esa razón que se propone un desarenador de dos unidades en paralelo en la obra ya existente.

El objetivo es trabajar con un desarenador de 0.20 m de ancho, manteniendo el largo actual, pero reduciendo la profundidad a 0.5m, así se cumple la relación de 10 entre el largo/ancho. Tomando esas medias, los dos desarenadores deberían cumplir un tiempo de retención de 2.10 minutos para que el proceso sea efectivo. Con un borde de 20 cm.

### Diseño del desarenador

Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Ancho (m)	Largo(m)	Profundidad (m)	Tiempo de retención (minutos)	Velocidad de sedimentación (cm/s)	Velocidad de resuspensión (cm/s)	Velocidad horizontal (cm/s)
0.001595	0.2	2	0.5	2.1	1.783309	0.181685	0.003988

El sistema de desinfección pensado para este proyecto es un hipoclorador de goteo constante. Para ello, se realizó el diseño de un tanque de cloración que contenga la solución madre y del tanque de mezclado, en donde se determinará el tiempo de retención para garantizar un proceso eficiente. El método utilizado para el cálculo de la dosis del desinfectante se basó en el método concentración-tiempo

## Sistema de desinfección

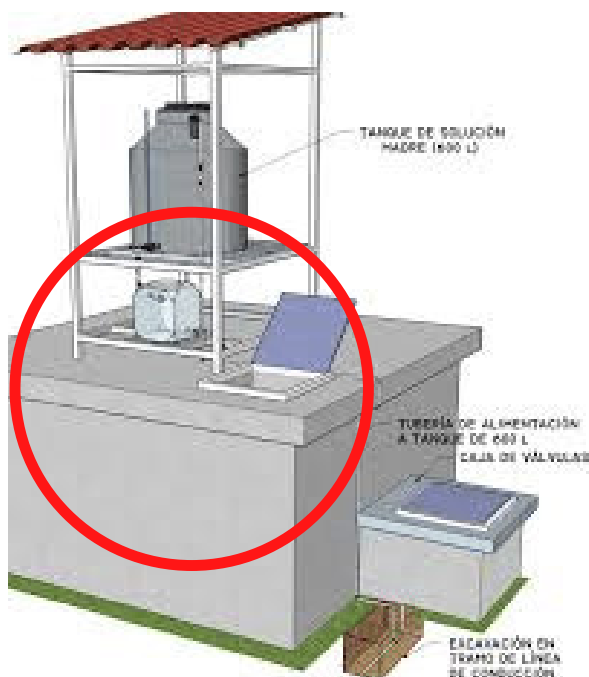


El sistema de desinfección propuesto es un hipoclorador de goteo constante específico para cada tanque de cloración del actual sistema. Es importante mencionar que se ha decidido mantener los tres tanques de cloración actuales, puesto que ya existe una población que hace uso del servicio después de cada tanque de cloración. Se escogió la dosis de 1.4 mg/L para los tres tanques de cloración, de esa manera se ha determinado un tiempo de retención en función de su temperatura y pH correspondiente. La propuesta de los hipocloradores se ha realizado con Hipoclorito de Calcio al 70%.

### Tiempo de retención del sistema de desinfección

Ubicación	Dosis (mg/L)	K (mg*min./L)	Tiempo de retención calculado (minutos)	Tiempo de retención (minutos)
Hipoclorador de goteo constante N°1	1.4	39	27.85	30
Hipoclorador de goteo constante N°2	1.4	18	12.86	15
Hipoclorador de goteo constante N°3	1.4	22	15.71	20

Una vez determinado el tiempo de retención, se realizó el cálculo del volumen necesario para asegurar la desinfección.



### Volumen tanque de contacto

Ubicación	Q (m³/s)	Tiempo (segundos)	Volumen tanque de contacto calculado (m³)	Volumen del tanque de contacto actual (m³)
Hipoclorador de goteo constante N°1	0.00154	1800	2.77	2.64
Hipoclorador de goteo constante N°2	0.0013	900	1.17	108
Hipoclorador de goteo constante N°3	0.0023	1200	2.76	39.30

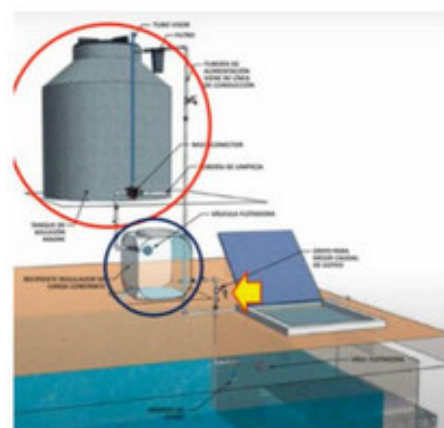
A continuación, se realizó el cálculo de la cantidad de cloro para cada tanque del sistema en la solución madre correspondiente.

Fuente: (MANUAL Hipoclorador de Goteo Doble Recipiente-Digital [PDF] | Free PDF Manuals, 2022)

### Peso de cloro a usar en el sistema de desinfección

Ubicación	Volumen de agua tratada (m³)	Peso del cloro * (gramos)
Hipoclorador de goteo constante N°1	1995.84	3991.68
Hipoclorador de goteo constante N°2	1684.80	3369.6
Hipoclorador de goteo constante N°3	2980.80	5961.6

\*Peso de cloro para un periodo de recarga de 15 días



Fuente: (Ministerio de Viviendas, 2021)

La solución madre deberá colocarse en un tanque que logre abarcar la mezcla cuya concentración máxima sea inferior a los 5000 mg/L. El tanque de la solución madre deberá conectarse a un tanque de dosificación de 40 litros con un flotador interno que mantenga las condiciones constantes hasta la recarga de la solución madre.

# OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

El proceso de desinfección se deberá efectuar en todos los sistemas de tratamiento. Es importante notificar a los usuarios del sistema la ejecución del mantenimiento puesto que esto representa la suspensión del servicio por el tiempo que dure este. Además, el mantenimiento de los componentes del sistema deberá ser mínimamente una vez al mes, este periodo irá variando con las inspecciones que se le realicen al sistema, para los tanques de cloración, la frecuencia recomendada es cada 15 días, al recargar el tanque.

Antes de iniciar con el mantenimiento del sistema, el encargado se deberá preparar con equipo de protección, herramientas e insumos que aseguren su integridad física y un correcto desarrollo de sus actividades. Al igual que contar con la dosificación adecuada.



Fuente: (Ministerio de Vivienda, 2021).

Para realizar la limpieza de los componentes del sistema, se requiere de un cálculo específico para cada sistema de abastecimiento de agua potable tal como lo indica el Ministerio de Viviendas, Construcción y Saneamiento de Perú.

En esta ocasión, el agente desinfectante será hipoclorito de calcio al 70%. La cantidad que se aplicará en cada componente se presenta a continuación. El peso del hipoclorito usado para el proceso de desinfección deberá ser disuelto en 20 litros de agua.



### Preparación de solución para mantenimiento del sistema

Componente	Volumen (L)	Concentración (mg/L)	Peso desinfectante, kg (Hipoclorito de calcio al 70%)
Desarenador	2.64	150	0.57
Captación 2	1.5	150	0.32
Tanque de cloración 1	0.53	50	0.04
Tanque de cloración 2	108	50	7.71
Tanque de cloración 3	49.3	50	3.52
Tanque de reserva	27	50	1.93
<b>Líneas de conducción</b>			
Tramo desarenador – T1 (63 mm)	0.89	200	0.25
Tramo T1 – T2 (63 mm)	6.50	200	1.86
Tramo T2 – T3 (63 mm)	4.36	200	1.25
Tramo C2 – T3 (110 mm)	5.03	200	1.44
Tramo T3 – Tanque de reserva y distribución (63 mm)	3.76	200	1.07

Una vez se cuente con esta dilución se debe seguir el proceso de mantenimiento presentado a continuación.

1. Limpie el exterior de las estructuras y áreas circundantes.
2. Desagüe el reservorio, captación o tanque mediante las válvulas de purga o tubería de rebose.
3. Friegue el interior con la ayuda de una escobilla, procurando no olvidar los accesorios o esquinas.
4. Retire los sedimentos con la ayuda de un trapo, escobas, etc., según lo amerite el caso y enjuague con abundante agua.
5. Disuelva la cantidad de hipoclorito de calcio al 70% para cada elemento en 20 litros de agua, dicho peso fue previamente calculado.
6. Humedezca un cepillo o un trapo con el desinfectante y proceda a fregar por todo el interior.
7. Enjuague con abundante agua un par de veces.
8. Finalmente, coloque en su posición original los accesorios como tubería de rebose para reactivar el funcionamiento del sistema.

Se debe recordar que la solución debe mantenerse un tiempo prudencial en el elemento que se esté limpiando, de esta manera se asegura una correcta acción de parte del desinfectante.

Una vez finalizado el proceso de mantenimiento del sistema, se recordará a los usuarios no consumir el agua sino hasta 4 horas.



# PRESUPUESTO

El presupuesto es esencial para conocer las posibilidades de aplicación de las propuestas de mejora. Se realizó un presupuesto con las principales actividades de cada una de las propuestas. Se utilizó los rubros presentados en el 2019 por la EPMAPS para la elaboración del presupuesto correspondiente.

## *Presupuesto de la propuesta de mejora*

<b>Propuesta</b>	<b>Precio (USD)</b>
<b>Desarenador</b>	<b>450.98</b>
<b>Rejilla</b>	<b>86.40</b>
<b>Aireador 1</b>	<b>839.73</b>
<b>Aireador 2</b>	<b>1206.57</b>
<b>Desinfección</b>	<b>1213.07</b>

El total de la implementación es aproximadamente de 3796.75 USD, hay que recordar que se han incluido los rubros totales relacionados a cada actividad, asegurando ser lo más similar a la realidad posible. Sin embargo, si se contase con elementos como tanques, válvulas y demás, los costos se reducirán.

Como se observa en la tabla, la mayor cantidad del presupuesto se destinará al proceso de desinfección, el valor reflejado contempla la implementación de tres hipocloradores de hipoclorito de calcio, uno en cada tanque de cloración.

## CONCLUSIONES

- Se determinó que actualmente el sistema abastece a una población 320 habitantes, que equivale a 71 familias que en promedio presentan 4.5 usuarios por hogar. Dichas familias, hacen uso del recurso a partir del primer tanque de cloración, he ahí la importancia de mantener tres sistemas de desinfección funcionales.
- Se estableció que en el proceso de tratamiento de la comunidad de Runahurco presenta inconvenientes en el cribado en época de invierno por la presencia de material sólido (ramas, lodo, hojas, etc.), el desarenador no sedimenta correctamente las partículas por el escaso tiempo de retención y el proceso de desinfección desperdicia recursos sin garantizar las condiciones aceptables de cloro residual establecido por la NTE INEN 1108.
- Al comparar los resultados de los análisis químico, físicos y microbiológicos con la normativa TULSMA encargada de indicar los valores aceptables de parámetros específicos en el líquido vital crudo destinado al consumo humano, se encontró que el único parámetro considerado no aceptable es el oxígeno disuelto puesto que se encontró debajo de la cifra normada.
- Asimismo, en los estudios realizados en el agua ya destinada para consumo posterior al tratamiento se comparó con lo presentado en la NTE INEN 1108, los resultados de los análisis tanto químicos, físicos y biológicos, determinó que el parámetro problemático es el pH, al ser inferior al rango aceptable.
- En la evaluación del Índice de Calidad del Agua (ICA-NSF), se conoció que el agua de las captaciones se cataloga como de buena calidad, al encontrarse en el rango de 71 a 90 en la escala propuesta por Brown, con un valor de 82.74 y 74.62 correspondientes a la primera y segunda vertiente respectivamente, siendo aceptables para el consumo humano. Los parámetros que inciden negativamente en la calidad son el oxígeno disuelto, el potencial hidrógeno y la temperatura, que coincidentemente tienen mayor peso en la ponderación.
- Garantizando la calidad del agua, se ha propuesto la mejora en el sistema de tratamiento para que esta cumpla con todos los parámetros normados. Este contempla un aireador tipo cascada para cada captación que aumente el oxígeno disuelto en el agua. No obstante, asegurando un correcto proceso físico se plantea un nuevo diseño en el sistema de cribado y un perfeccionamiento en el desarenador, dichas actividades se encargarán de los sólidos que son un contratiempo en época de invierno. Finalmente, una mejoría para el proceso de desinfección es la implementación de un hipoclorador por goteo constante en cada uno de los tanques de desinfección con hipoclorito de calcio al 70%, la aplicación de este sistema asegura el cumplimiento de cloro residual mencionado en la NTE INEN 1108 que actualmente no se obedece.
- La prepueta de mejora tiene un costo total de 3796.75 USD, cuya mayor inversión será en el sistema de desinfección. El precio total puede reducirse en caso de contar con elementos similares a los requeridos en la propuesta de mejora. Además, se puede ir realizando el proceso por etapas, que significa un gasto inferior paulatino.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda un cuidado de las fuentes de captación para preservar sus cualidades, dicha actividad debe ser efectuada por los moradores de la comunidad y representantes del GAD parroquial mediante un trabajo en conjunto. Siendo las recomendaciones principales la no deforestación de la zona aledaña a la captación, manteniendo el sector ganadero alejado de las vertientes y realizar recorridos de limpieza en cercanías de los elementos del sistema.
- Por otra parte, en los recorridos realizados se visualizó presencia de verdín en las paredes de los tanques de cloración, es por lo que se deberá establecer frecuencias de limpieza y mantenimiento a las estructuras de almacenamiento del recurso y todo el resto de los componentes, cuya periodicidad sea inferior a 6 meses. La relevancia de esta recae en la potencial generación de trihalometanos al combinarse con el cloro del tratamiento, la obstrucción de tuberías y pérdida de presión, presencia de parámetros organolépticos que generen rechazo en el consumidor, etc.
- De la mano de esta, es recomendable ofrecer charlas y capacitaciones a la comunidad en relación con el aprovechamiento del recurso sin malgastarlo, métodos de desinfección desde el hogar, conservación del medio ambiente y trabajo colaborativo entre la comunidad y las autoridades municipales.
- Se sugiere mejorar el sistema de tratamiento de Runahurco, iniciando por la desinfección, puesto que incumple con la cantidad de cloro residual que llega a los domicilios de los consumidores, se malgasta cloro en el caudal de rebose y no hay un tiempo de retención adecuado, teniendo como resultado una desinfección deficiente. Sin embargo, los tratamientos físicos como aireación, cribado y sedimentación son importantes para garantizar una excelente calidad en el producto final, el agua.
- Además, se recomienda que el GAD correspondiente realice una inversión en una herramienta que permita un control estricto en la cantidad de cloro libre residual presente tanto en los diferentes procesos de purificación como en el último hogar que recibe el líquido vital. Para dicho labor, lo ideal es un medidor de cloro portátil.